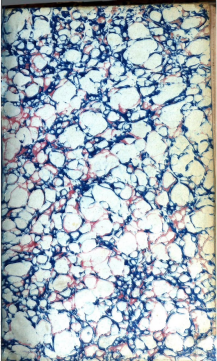
WIEN. PHILOSOPH. BIBLIOTHEK
19.790-B
ALT-



Digitized by Google

19790-B.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Pouillet's

Lehrbuch der Physik

und

Meteorologie,

für

deutsche Verhältnisse frei bearbeitet

von

Dr. Joh. Müller,
Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Zweiter Band.

Zweite umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Mit gegen 1200 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1845.

Digitized by Google

Lehrbuch

der

Physik und Meteorologie

von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Als

zweite umgearbeitete und vermehrte Auflage

der Bearbeitung

von

Pouillet's Lehrbuch der Physik.

Zweiter Band.

Mit gegen 1200 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1845.

Digitized by Google

Digitized by Google

Sechster Abschnitt.

Magnetismus und Elektricität.

Erste Abtheilung.

Magnetismus.

Erstes Kapitel.

Von der gegenseitigen Wirkung der Magnete auf einander und auf magnetische Körper.

Man findet im Schooße der Erde Körper, welche die Eigenschaft haben, 1
Eisen anzuziehen. Diese Körper, welches auch ihre Zusammensetzung und ihre Form seyn mag, nennt man natürliche Magnete, früher nannte man sie Magnetsteine, weil sie eher ein steiniges als ein metallisches Ansehen haben. Es giebt schwache Magnete, d. h. solche, welche bei großem Volumen doch nur eine geringe anziehende Kraft zeigen und, mit Eisenfeile in Berührung gebracht, kaum einige Stückchen zu heben im Stande sind; dagegen findet man andere Magnete, welche so stark sind, daß sie Massen von 50, ja von 100 Kilogramm tragen können.

Um die anziehende Kraft zu zeigen, welche ein Magnet auf das Eisen ausübt, kann man folgende Versuche anstellen:

1) Wenn man einen Magneten mit einem Ende in Eisenfeile taucht, so sieht man, daß die Metalltheilchen sich an seine Oberfläche anhängen, daß sich ferner wieder ein Eisentheilchen an's andere hängt, und sich so Büschel von der Länge einiger Linien bilden. Dieses Aneinanderhängen der Eisentheilchen überhaupt, so wie auch die Art und Weise, wie sie sich unter einander ordnen, ist höchst merkwürdig, und wir werden ausführlicher darauf zurückkommen; für jetzt soll es uns nur ein einfacher Beweis für die Anziehung seyn.

2) Wenn man einem Magneten, je nach seiner Stärke, größere oder kleinere Stücke Eisen nähert, so scheinen sie in einer Entfernung von eini-

gen Millimetern vom Magnete gleichsam leichter zu werden; sie werden gegen seine Oberfläche hingezogen und bleiben dann an derselben hängen; um sie wieder abzureißen, hat man nach Umständen eine größere oder kleinere Kraft nöthig.

3) Wenn man eine kleine Eisenkugel an einem biegsamen Faden aufhängt und nach und nach einen Magneten nähert, so sieht man, wie das Pendel sich merklich von der Richtung der Vertikalen entfernt. Man kann auf diese Art selbst mehrere charakteristische Eigenschaften der magnetischen Anziehungskraft nachweisen, nämlich 1) daß sie in die Ferne wirkt, 2) daß sie eben so durch die Luft wie durch ein Vacuum, überhaupt durch alle Körper hindurch, Eisen ausgenommen, auf gleiche Weise wirkt, 3) daß sie mit wachsender Entfernung an Stärke abnimmt.

Da alle Anziehungen gegenseitig sind, so muß man schließen, daß, wenn der Magnet das Eisen anzieht, umgekehrt auch der Magnet vom Eisen nach denselben Gesetzen angezogen wird. Diese nothwendige Folgerung läßt sich übrigens auch direct durch die Umkehrung der eben angeführten Versuche darthun. Wenn man einen Magneten aufhängt, um ihn dadurch beweglich zu machen, so beobachtet man die erwähnten Erscheinungen, wenn man ihm ein Stück Eisen nähert.

Da sich diese anziehende Kraft von allen übrigen Naturkräften unterscheidet, so hat man ihr auch einen besonderen Namen, magnetische Kraft, gegeben, was von dem Worte μάγνης herkommt, mit welchem die Griechen die Steine bezeichneten, welche die erwähnte Eigenschaft haben, die den Alten schon bekannt war. Plato spricht davon in mehreren seiner Dialoge, und man muß bis zu den Zeiten des Pythagoras hinaufgehen, um die ersten Notizen über diesen Gegenstand zu finden, welche auf unsere Zeiten gekommen sind.

2 **Jeder Magnet hat eine Mittellinie und zwei Pole.** Das Eisen scheint in Beziehung auf den Magnet das zu seyn, was die schweren Körper für die Erdkugel sind. Auf allen Seiten zieht die Erde die schweren Körper gegen ihre Oberfläche an. Sehen wir nun, ob dies beim Magnete ebenso ist? ob die Eisentheilchen auf allen Punkten seiner Oberfläche auch gegen seinen Mittelpunkt angezogen werden? Nehmen wir das magnetische Pendel wieder zur Hand, d. h. eine kleine eiserne Kugel, welche an einem Seidenfaden aufgehängt ist. Wenn man den Magneten immer in gleiche Entfernung von der Eisenkugel hält, so findet man, daß gewisse Punkte seiner Oberfläche, wenn man sie der Kugel zuwendet, eine stärkere Ablenkung bewirken als andere. Besonders bemerkt man zwei entgegengesetzte Enden, welche eine ganz besonders starke Wirkung äußern, während man an allen Punkten, welche zwischen diesen liegen, einen geringeren Effect beobachtet. Man gelangt zu demselben Resultate, mag man nun

zu diesem Versuche einen natürlichen Magneten in seiner unregelmäßigen Gestalt oder einen künstlichen Magneten von cylindrischer oder prismatischer Form anwenden. In dem letzteren Falle ist der Unterschied auffallender, und man sieht bald, daß diejenigen Querschnitte des Magneten, welche seiner Mitte nahe liegen, nicht auf das Pendel wirken, während die Wirkung, welche die äußersten Punkte hervorbringen, sehr kräftig ist. Man kann also auf der Oberfläche eines Magneten, ungefähr in der Mitte seiner Länge, eine Linie um denselben ziehen, deren Punkte gar keine anziehende Kraft auf das Eisen zeigen; man nennt diese Linie die neutrale Linie oder die Mittellinie. Sie theilt den Magneten in zwei Theile, welche man seine Pole nennt. Das Wort Pol wird auch noch in zwei anderen Bedeutungen gebraucht. Wir werden uns desselben bedienen, um diejenigen Punkte der Oberfläche damit zu bezeichnen, welche am weitesten von der Mitte entfernt sind, und in welchen die Anziehungskraft am stärksten ist; dann aber bezeichnet man auch mit dem Worte »Pol« einen idealen Punkt im Innern des Magneten, von welchem man sich die anziehende Kraft ebenso ausgehend denken kann, wie man sich die Gesammtanziehung, welche von der Erde ausgeht, in ihrem Mittelpunkte vereinigt denkt; denn ein Eisentheilchen wird nicht allein von demjenigen Punkte des Magneten angezogen, an welchem es gerade anhängt, oder welchem es zunächst liegt, sondern von allen denjenigen, welche auf derselben Seite der Mittellinie liegen; der Angriffspunkt der Resultirenden aller dieser partialen Anziehungen im Magnete nun wird der Pol genannt. Es wird stets leicht seyn, aus dem Zusammenhange zu ersehen, in welcher der drei Bedeutungen das Wort Pol zu nehmen sey. In jedem Falle hat ein Magnet eine Mittellinie und zwei Pole.

Dieser Fundamentalsatz kann aber auch durch andere leichtere und noch entscheidendere Versuche dargethan werden. Man wälze einen Magneten in Eisenfeile, so wird er sich mit längeren und kürzeren Fäden bedecken, welche dem Auge sichtbar machen, wie verschieden die Anziehung an verschiedenen Punkten der Oberfläche ist. Die Fig. 1 zeigt die Erscheinung an einem natürlichen, Fig. 2 an einem künstlichen Magneten. Die Enden bedecken sich mit langen Fäden von Eisenfeile, welche rechtwinklig auf der Oberfläche stehen. An denjenigen Querschnitten, welche weiter von den Enden entfernt sind, werden die Fäden kürzer und fangen an, sich gegen die

Fig. 1.

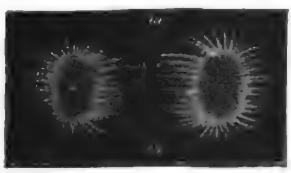
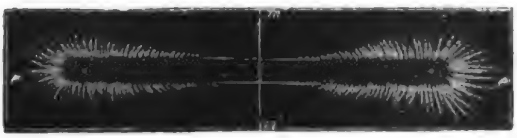


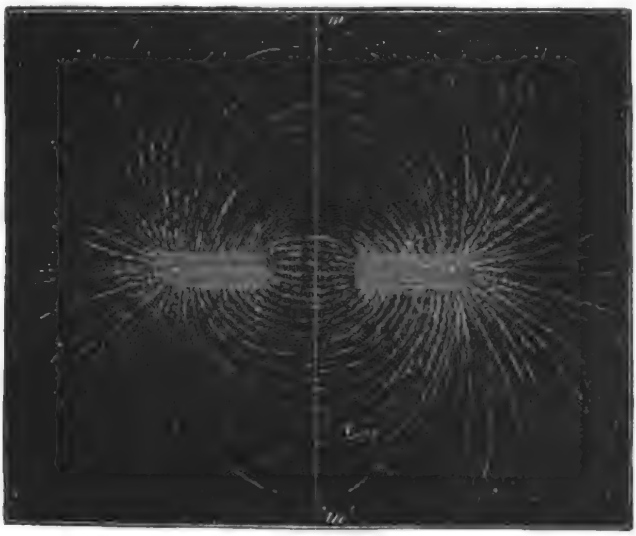
Fig. 2.



Mitte hin zu neigen, gleichſam als ob ſie ein Beſtreben hätten, von den Enden zu fliehen und ſich der Mitte zu nähern. In der Mittellinie $m\ m'$ endlich bleibt kein Eiſentheilchen hängen.

Man kann ähnliche Erſcheinungen hervorbringen, wenn man auf einen Magneten ein Kartenblatt oder Papierblatt legt und Eiſenfeile durch ein feines Sieb darauf fallen läßt; wenn man dann ganz ſchwach an das Blatt anſtößt, ſo ordnen ſich die Eiſentheilchen in regelmäßige Kurven, wie man Fig. 3 ſieht. Sie zeichnen gleichſam die Geſtalt des Magneten mit ſeinen

Fig. 3.



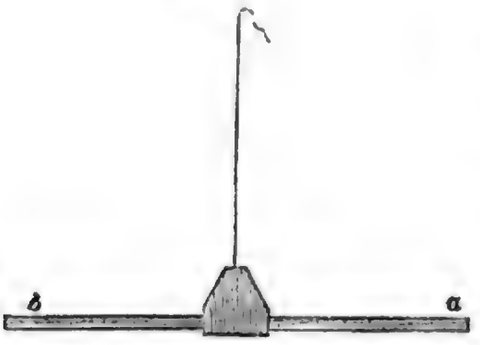
Polen ab. Man ſieht auf dieſe Weiſe ſehr deutlich, wie die Fäden der Eiſenfeile von den beiden Seiten der Mittellinie $m\,m'$ ausgehen, um ſich auf dieſer zu vereinigen. Dieſer Verſuch zeigt zu gleicher Zeit, daß die Anziehung des Magneten durch die Subſtanz des Papiers hindurchwirkt.

Man ſollte auf den erſten Anblick glauben, daß, wenn man einen Magneten nach ſeiner Mittellinie theilt, alsdann die beiden ſo erhaltenen Stücke jedes für ſich nicht vollſtändig die Eigenſchaften eines ganzen Magneten haben könnten. Der Verſuch iſt leicht anzuſtellen. Wir werden ſehen, daß man von gut gehärtetem Stahle Magnete machen kann, welche wie Glas brechen. Nehmen wir einen Magneten von dieſer Art, brechen wir ihn nach ſeiner Mittellinie durch, ſo werden wir finden, daß jede der beiden Hälften für ſich, in Eiſenfeile gelegt, ganz die Eigenſchaften eines vollſtändigen Magneten zeigt, jedes Stück hat wieder ſeine beiden Pole und ſeine Mittellinie. Bricht man jedes Stück von Neuem durch, ſo ſind dieſe zuletzt erhaltenen Stücke wieder vollſtändige Magnete, welche, wie der urſprüngliche, ihre Pole und ihre Mittellinie haben. Wir werden ſpäter den

Grund dieser Erscheinung kennen lernen; hier genügt es, die Thatsache anzudeuten und zu zeigen, daß es unmöglich ist, einen Magneten zu bilden, welcher nur einen Pol hat.

Die gleichnamigen Pole stoßen sich ab, die ungleichnamigen ziehen sich an. Die Fig. 4 stellt einen Magneten dar, welcher, in einer 3

Fig. 4.



Kapsel von Papier oder Metall liegend, horizontal aufgehangen ist. Wenn man nun jedem der beiden Pole *a* und *b* denselben Pol eines anderen Magneten nähert, so wird der Pol *a* angezogen, während *b* abgestoßen wird. Man nennt nun die Pole *a* und *b* ungleichnamig, weil sie auf verschiedene Weise auf denselben ihnen genäherten Pol wirken. Wenn man nun den Magnet, den man in der Hand hielt, umkehrt, um seinen anderen Pol dem aufgehängten zu nähern, so wird das Umgekehrte stattfinden, *a* wird abgestoßen und *b* angezogen. Die beiden Pole des bei diesem Versuche in der Hand gehaltenen Magneten sind also auch verschiedener Natur, sie sind auch ungleichnamig. Ebenso läßt sich zeigen, daß die beiden Pole eines jeden Magneten ungleichnamig sind.

Nähert man dem aufgehängten Magneten nach einander zwei verschiedene Magnete, so wird es leicht seyn, an jedem derselben denjenigen Pol zu finden, welcher den Pol *a* des aufgehängten Magneten anzieht, *b* aber abstößt. Bezeichnen wir diesen Pol des ersten Magneten mit *n*, den Pol des zweiten Magneten aber, welcher ebenso wirkt, mit *n'*, so sind *n* und *n'* die gleichnamigen Pole dieser beiden Magnete. Der zweite Pol des ersten Magneten sey *m*, der des andern *m'*, so wird der Pol *m* ebenso wie der Pol *m'* den Pol *a* des aufgehängten Magneten abstoßen, den Pol *b* aber anziehen. Die beiden Pole *m* und *m'* sind ebenfalls gleichnamig.

Hängen wir jetzt den Magneten, dessen Pole wir mit *m* und *n* bezeichnet haben, so auf, daß er sich in einer horizontalen Ebene frei drehen kann, nähern wir ihm den andern, so finden wir, die Pole *m* und *m'* stoßen sich ab, ebenso die Pole *n* und *n'*, die gleichnamigen Pole stoßen sich also ab. Die Pole *m* und *n'*, *n* und *m'*, also die ungleichnamigen Pole, ziehen sich an.

In den beiden Hälften also, in welche ein Magnet durch die Mittellinie zerlegt wird, liegen zwei Kräfte, welche anfangs ganz identisch schienen, weil sie auf gleiche Weise auf das Eisen wirken, die aber in der That zwei ganz entgegengesetzte Kräfte sind. Die Mittellinie ist also die Grenze zweier antagonistischen Kräfte, sie bildet den Uebergang von der

einen zur andern, und darin liegt auch die Ursache ihrer neutralen Beschaffenheit.

Sucht man nun auf die Ursache dieser magnetischen Erscheinungen zurückzugehen, so sieht man bald, daß sie nicht wie die Schwere einer inhärirenden Eigenschaft der ponderabeln Materie zugeschrieben werden kann. Die natürlichen Magnete sind ihrer chemischen Zusammensetzung nach Eisenoxyd-Oxydul, sie bestehen also nur aus Eisen und Sauerstoff. Nun hat aber keines dieser Bestandtheile für sich die Eigenschaft, magnetische Wirkungen hervorzubringen, und es ist sehr unwahrscheinlich, daß ihre Molekule, indem sie sich verbinden, ganz neue wesentliche Eigenschaften erhalten sollten, die sie vor ihrer Verbindung nicht hatten. Man hat bis jetzt an ponderabeln Materien noch nie beobachtet, daß die Form, das Arrangement der Theilchen, die Ursache von neuen in die Ferne wirkenden Kräften ist. Von einer andern Seite betrachtet, können die inhärirenden Kräfte der ponderabeln Materie wohl vermehrt und vermindert oder auf mannigfache Weise modificirt werden, man kann sie aber niemals gänzlich vernichten, während die magnetischen Kräfte nach Belieben zerstört und wiedererzeugt werden können. Man kann dies nachweisen, wenn man einen Magneten bis zum Rothglühen erhitzt. Er verliert dabei nichts von seinen materiellen Theilchen, und dennoch hat er alle magnetischen Eigenschaften verloren. Nach dem Erkalten ist er, was seine Materie betrifft, vollkommen unverändert, er äußert aber auf das Eisen nicht die geringste anziehende Kraft. Man kann ihm aber, wie wir bald sehen werden, seine magnetischen Eigenschaften wieder ertheilen, ohne ihm an ponderabeler Materie auch nur das Mindeste hinzuzufügen oder wegzunehmen.

Man ist durch diese Gründe dahin geführt worden, den Magnetismus als eine Flüssigkeit von ganz eigenthümlicher Art zu betrachten, welche in der ponderabeln Masse der Magnete verbreitet ist. Da wir nun aber zwei entgegengesetzte magnetische Kräfte kennen gelernt haben, müssen wir auch zwei entgegengesetzte magnetische Flüssigkeiten annehmen, von welchen die eine am einen, die andere am andern Pole vorherrscht. In gleichnamigen Polen prädominirt dieselbe Flüssigkeit, und da sie sich abstoßen, so müssen wir schließen, daß jede Flüssigkeit sich selbst abstößt; ungleichnamige Pole aber enthalten die entgegengesetzten Flüssigkeiten, und diese ziehen sich an.

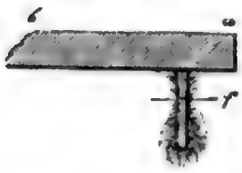
Solche Flüssigkeiten müssen auch im Eisen vorhanden seyn, denn wenn sie von der ponderabeln Materie verschieden sind, so muß man annehmen, daß sie nicht auf die materiellen Theilchen des Eisens selbst, wohl aber auf die in den Zwischenräumen der Molekule enthaltene magnetische Flüssigkeit wirken

Obnun wirklich ein solches magnetisches Fluidum existire, läßt sich freilich durch ein solches Raisonnement nicht darthun, wir halten aber an dieser

Vorstellungsweise fest, weil wir bei dem gegenwärtigen Zustande unserer Naturkenntniß keine bessere Theorie substituiren können. Unsere Theorie genügt dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft, sie macht es möglich, alle die verschiedenen magnetischen Erscheinungen unter einem Gesichtspunkte zu vereinigen.

Unter dem Einfluß eines Magneten wird das Eisen selbst zum Magnet. 4 Um diese Eigenschaft des Eisens zu beweisen, kann man den Versuch so anstellen, wie Fig. 5 angedeutet ist. Ein Cylinder *f* von Eisen sey durch einen Magneten *a b* getragen; wenn man nun dem untern Ende dieses Cylinders Eisenfeile nähert, so hängt sie sich in Form eines Büschels an und bleibt so lange daran hängen, als der kleine Cylinder an dem Magneten hängt; sobald man ihn aber abreißt, fällt auch die Eisenfeile wieder ab, man beobachtet keine anziehende Kraft mehr. Man kann diese Erscheinung nicht der in die Ferne wirkenden Kraft des Magneten zuschreiben, denn wenn der kleine Cylinder nicht von Eisen wäre, so würde man dieses Phänomen nicht beobachten; man wird sich aber noch mehr davon überzeugen, wenn man beobachtet: 1) daß die Fäden der Eisenfeile vom Ende des kleinen Cylinders an immer kleiner werden, 2) daß sich gegen sein oberes Ende hin ein Punkt findet, wo die Eisenfeile gar nicht mehr anhängt, daß der kleine Cylinder also eine magnetische Mittellinie hat, 3) daß über diesem Punkte die Eisenfeile wieder anhängt, daß die Fäden aber eine entgegengesetzte Richtung haben. Der kleine Cylinder ist also ein förmlicher Magnet, er zieht Eisenfeile an, er hat zwei Pole und eine Mittellinie, nur fällt diese magnetische Mittellinie nicht mit der geometrischen Mitte zusammen.

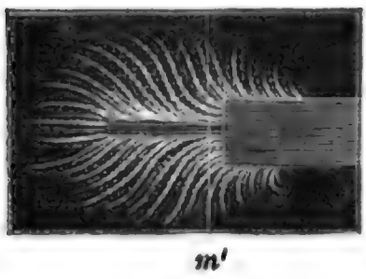
Fig. 5.



Anstatt dem angehängten Cylinder Eisenfeile zu nähern, kann man einen ähnlichen Cylinder anhängen, Fig. 6, welcher auch getragen wird; an diesen kann man einen dritten hängen, welcher wieder einen vierten trägt u. s. w. Man kann auf diese Weise eine Kette bilden, deren erstes Glied der Magnet ist. Nimmt man dieses Glied weg, so fällt die ganze Kette auseinander, weil keine Kraft mehr da ist, welche die Glieder zusammenhält.

Fig. 6.

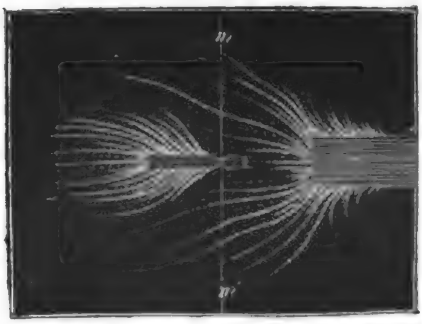
Fig. 7.



Man kann dasselbe beweisen, wenn man den kleinen Cylinder von Eisen in der Richtung der Längenaxe des Magneten an denselben anlegt und beide auf ein Blatt von weißem Papier bringt. Eisenfeile, welche man darauf streut, arrangirt sich regelmäßig und zeigt in *m m'* eine Mittellinie, welche die beiden ent-

gegengeſetzten Actionen trennt, die nun im Eiſencylinder thätig ſind. Sobald man aber den Magneten wegzieht, hat die Eiſenfeile kein Beſtreben mehr ſich regelmäßig zu ordnen, noch das urſprüngliche Arrangement beizubehalten, was beweiſ't, daß das Eiſen ſeine magnetiſchen Eigenſchaften, die es unter dem Einfluſſe des Magneten angenommen hatte, wieder verliert. Wenn man den Verſuch modificirt, kann man beweiſen, daß das Eiſen nicht allein durch den unmittelbaren Contact mit dem Magneten die magnetiſchen Eigenſchaften erhält, ſondern daß es ſie ſchon in einiger Entfernung vom Magneten erhält, wie man Fig. 8 ſieht.

Fig. 8.



Das Eiſen enthält alſo, wie der Magnet ſelbſt, die beiden magnetiſchen Fluſſigkeiten, allein ſie ſind *verbunden*, die eine neutraliſirt die andere. Deshalb zeigt das Eiſen keine magnetiſchen Wirkungen, denn was die eine Flüſſigkeit anzieht, ſtößt die andere mit gleicher Kraft ab, die Geſammtwirkung iſt alſo Null. Wenn aber das Eiſen der Einwirkung eines Magneten ausgeſetzt wird, ſo werden die beiden Flüſſigkeiten von einander getrennt, die eine wird vom Magneten angezogen, die andere aber abgeſtoßen. Das Eiſen magnetiſiren heißt alſo: die magnetiſchen Flüſſigkeiten trennen. Der folgende Verſuch iſt ſehr geeignet, dies anſchaulich zu machen. Ein horizontaler Magnet *a b* trägt an ſeinem Ende eine Eiſenmaſſe *f*, deren Gewicht der Grenze deſſen ziemlich nahe liegt, was der Magnet überhaupt zu tragen im Stande iſt. Ueber *a b* nähert man nun einen anderen Magneten *a' b'* von gleicher Stärke, aber ſo, daß die entgegengeſetzten Pole *a* und *b'* einander zugekehrt ſind. Wenn man nun dieſen zweiten Magneten auf die erwähnte Art allmälig nähert, ſo fällt das Eiſenſtück *f* herab. Die beiden Magnete zuſammengenommen können alſo nicht tragen, was jeder für ſich zu tragen vermag. Man ſieht den Grund davon leicht ein: der zweite Magnet zerſtört die Wirkungen des erſtern, indem er die Flüſſigkeiten der Eiſenmaſſe *f* in entgegengeſetztem Sinne zerlegt.

Fig. 9.

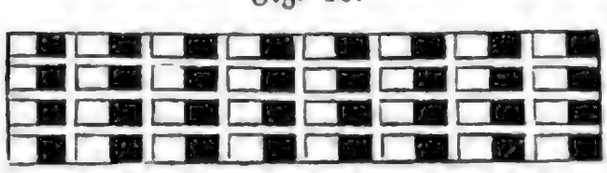
Die magnetiſche Flüſſigkeit geht weder von einem Magneten auf das Eiſen über, noch von einem Molekül des Eiſens auf das benachbarte. Mit einem Magneten kann man ſo viel und ſo oft Eiſenſtücke magnetiſch machen, als man nur will, ohne daß er auch nur im Mindeſten von ſeiner anziehenden Kraft verliert. Bei dieſer Operation geht alſo nichts von der magnetiſchen Flüſſigkeit auf das Eiſen über, weil

sich ja sonst der Magnet erschöpfen müßte. Ferner bemerkt man, daß ein Stück Eisen, welches während der ganzen Zeit, in welcher es mit einem Magnete in Berührung bleibt, magnetisch ist, keine Spur von Magnetismus behält, wenn man es von dem Magneten wegnimmt, es kann also nichts auf das Eisen übergegangen seyn. Endlich hat jeder Cylinder von Eisen, so lange er mit dem Magneten in Berührung bleibt, eine Mittellinie und zwei Pole, woraus hervorgeht, daß er beide Flüssigkeiten enthält, und doch könnte er ohne Zweifel von dem Magnete nur eine Flüssigkeit erhalten, wenn überhaupt etwas von dem Magnete überginge. Die magnetische Flüssigkeit geht also nicht von einem Körper zum andern über.

Man sollte demnach denken, daß sich die magnetischen Flüssigkeiten in den magnetischen Körpern wie in vollkommen verschlossenen Gefäßen befänden, daß sie sich aber doch im Innern frei bewegen könnten; daß sie also durch äußere Einwirkungen getrennt und jedes der beiden Fluida an einer andern Stelle des Eisens angehäuft werden könnte, so daß am einen Pol vorzugsweise die eine, am andern Pol die andere Flüssigkeit sich vorfindet. Diese Vorstellungsweise liegt wenigstens am nächsten, wenn man die erwähnten Erscheinungen der magnetischen Vertheilung betrachtet. Bei näherer Betrachtung ergiebt sich jedoch bald, daß es nicht so ist. Bringen wir einen Eisendraht mit einem Magneten in Berührung, so wird er selbst magnetisch, und wenn die eben erwähnte Vorstellung richtig wäre, so müßte sich, wenn man den Draht nach seiner Mittellinie durchschneidet, in jeder Hälfte nur eine Flüssigkeit vorfinden. Es ist aber nicht so; das Stück, welches am Magneten hängen bleibt, ist noch immer ein vollständiger Magnet, das Stück aber, welches herabgefallen ist, zeigt keine Spur von Magnetismus, es enthält also beide Fluida in gleichem Maaße, in gleichmäßiger Vertheilung. In dem abgeschnittenen Drahtstücke konnte also nicht die eine der beiden Flüssigkeiten in dieser Weise angehäuft seyn.

Die Erscheinungen der magnetischen Vertheilung scheinen uns also zu unlöslichen Widersprüchen zu führen, welche jedoch durch folgende Vorstellungen gehoben werden. Die magnetischen Fluida können nicht von einem Molekül zum andern übergehen, sie können aber in jedem Molekül für sich getrennt werden, so daß man die Moleküle selbst theilen müßte, wenn man jede der beiden Flüssigkeiten isolirt darstellen wollte. Einen Magneten oder einen magnetisirten Eisenstab müssen wir uns, wie Fig. 10 anschaulich macht, aus kleinen Theilchen zusammengesetzt denken, deren jedes die beiden Fluida, aber im getrennten Zustande, enthält; und zwar findet die Vertheilung der magnetischen Fluida in jedem Theilchen in der Weise Statt,

Fig. 10.

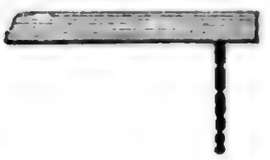


daß das gleichartige Fluidum in allen Theilchen nach derselben Seite hingekehrt ist. An dem linken Ende des Fig. 10 dargestellten Magneten ist also nur die eine, am rechten Ende nur die andere Flüssigkeit vorhanden; die Polarität des Magneten ist also erklärt. Man begreift nach dieser Vorstellungsweise recht gut, daß man einen Magneten in zwei Theile zerbrechen kann und daß jedes Stück für sich wieder ein vollständiger Magnet ist.

6 **Der Stahl nimmt alle magnetischen Eigenschaften an.** Man kann zu den oben erwähnten Versuchen Feilspähne von Stahl ebenso gut anwenden wie Eisenfeile.

Die Stahlfeile hängt sich an den Magneten an und bildet Büschel von merklicher Länge, nur ist die Einwirkung des Magneten auf die Stahlfeile etwas langsamer. Nimmt man aber Stahlstücke von bedeutenderem Volumen und namentlich Stücke von gut gehärtetem Stahl, so zeigen sie ein ganz anderes Verhalten als Eisen, denn es scheint, als ob ein Magnet nur schwach auf sie einwirkte. Wiederholt man den Fig. 11 angedeuteten Versuch mit Cylindern von Stahl, so hängt sich schon der erste Cylinder nicht so leicht an, man kann mit Stahl keine so lange Kette bilden, wie mit Eisen. Da jedoch kleine Stahlstücke angezogen werden, so können wir unmöglich annehmen, daß ein größeres Stück dieser Substanz gegen den Magnetismus durchaus unempfindlich seyn soll. In der That, wenn man ein Stahlstück längere Zeit, etwa $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ Stunde, mit dem Magnet in Berührung läßt, so findet man, daß es ebenfalls magnetisch geworden ist. Seine magnetische Kraft nimmt mit der Dauer der Berührung zu, und endlich wird der Stahl ebenso magnetisch wie das Eisen. Man kann die längere Berührungsdauer auch dadurch ersetzen, daß man das Stahlstück mit einem Magnet mehrmals in einerlei Richtung bestreicht. Der gehärtete Stahl zeigt also die charakteristische Eigenschaft, daß er nur durch längere Berührungsdauer mit dem Magneten oder durch wiederholtes Streichen vollkommen magnetisch gemacht werden kann. Eine zweite charakteristische Eigenschaft des Stahls ist es aber, daß, wenn er einmal magnetisch ist, er für immer magnetisch bleibt, was beim Eisen nicht der Fall ist. Um dies zu beweisen, braucht man nur ein Stahlstück, welches man mit einem Magneten gestrichen hat, in Eisenfeile zu legen, und man wird alsbald erkennen, daß es seine Mittellinie und seine beiden Pole hat. Wiederholt man den Versuch einen Tag, einen Monat, ein Jahr nachher, so wird man finden, daß das Stahlstück nichts an magnetischer Kraft verloren hat. Ein auf die erwähnte Weise behandeltes Stück Stahl hat für immer alle charakteristischen Eigenschaften eines Magneten.

Fig. 11.

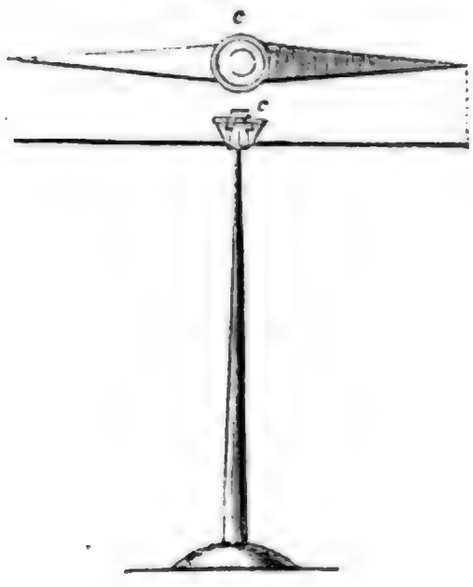


Weil der Stahl ursprünglich der magnetischen Einwirkung widersteht,

schließt man, daß in ihm eine Kraft vorhanden sey, welche der Trennung der magnetischen Fluida entgegenwirkt; man nennt diese Kraft Coërcitivkraft. Weil aber auch der Stahl den Magnetismus behält, welchen man ihm mitgetheilt hat, so muß auch eine Kraft vorhanden seyn, welche sich der Wiedervereinigung der einmal getrennten magnetischen Fluida, die sich fortwährend zu verbinden, sich zu neutralisiren streben, widersetzt, denn wenn eine solche Kraft nicht vorhanden wäre, so würden sie sich in der That alsbald wieder vereinigen, der Stahl würde alsbald wieder in seinen natürlichen Zustand zurückkehren, sobald die zerlegende Wirkung des Magneten aufhört, wie es ja beim weichen Eisen wirklich der Fall ist. Diese der Wiedervereinigung der getrennten Fluida widerstrebende Kraft wird ebenfalls Coërcitivkraft genannt. Ob nun die Coërcitivkraft, welche der Trennung der magnetischen Fluida widerstrebt, und diejenige Kraft, welche ihre Wiedervereinigung hindert, identisch sind, darüber läßt sich bis jetzt noch nichts entscheiden.

Unter allen Körpern der Natur ist vielleicht keiner, welcher so verschiedenartiger Arrangements der Molekule fähig ist, ohne daß sich seine chemische Zusammensetzung merklich ändert, als der Stahl. Durch verschiedene Grade des Härtens und des Anlassens kann man demselben Stück Stahl die entgegengesetztesten Eigenschaften ertheilen; man kann vollkommen elastische Federn machen; Stäbe, welche sich wie Eisen hämmern lassen; Feilen, Meißel und andere Instrumente, welche spröde sind wie Glas. In allen diesen verschiedenen Zuständen ist auch die Coërcitivkraft des Stahls verschieden. Der härteste und sprödeste Stahl hat in der Regel auch die stärkste Coërcitivkraft. Selbst das Eisen hat einige Coërcitivkraft, wenn es gehämmert oder durch einen Drahtzug gezogen ist. Mit dem Namen weiches Eisen wollen wir jedoch solches Eisen bezeichnen, welches gar keine Coërcitivkraft hat.

Fig. 12.



Aus dem Gesagten geht hervor, daß man von Stahl Magnete machen kann, welche alle Eigenschaften der natürlichen haben; dabei hat man aber den Vortheil, daß man ihnen eine beliebige Größe und Form geben kann, wie es gerade zu unseren Untersuchungen am geeignetsten ist. Die künstlichen Magnete haben verschiedene Namen. Eine Magnetnadel (Fig. 12) hat in der Regel die Gestalt einer Raute; sie hat ent-

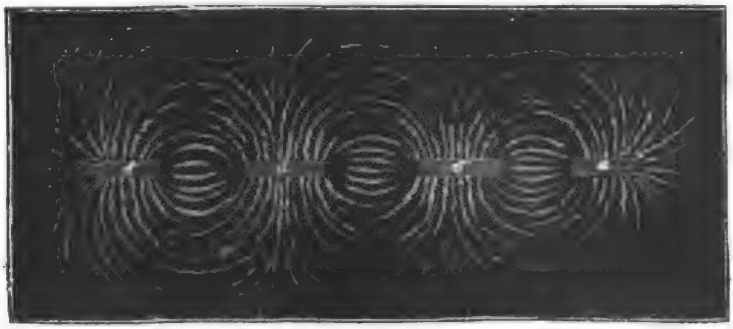
weder in ihrer Mitte ein Achathütchen, welches man auf eine feine Stahlſpitze ſetzt, oder ſie wird an einem Faden aufgehangen. Manchmal beſteht die Magnetnadel aus einem einfachen Stahldraht, einem Cylinder oder einem in die Länge gezogenen Prisma. Wenn die Dimenſionen der Nadel zu groß ſind, ſo reicht es, um ſie zu magnetiſiren, nicht mehr hin, ſie einige Mal an einem Magneten herzuſtreichen, man muß in dieſem Falle zu beſonderen Verfahrungsarten ſeine Zuflucht nehmen, welche wir weiter unten näher werden kennen lernen.

Es kommt manchmal vor, daß ein Magnet mehr als zwei Pole hat, welche man Folgepunkte nennt. Ihre Gegenwart läßt ſich durch eine Probenadel nachweiſen, wie man Fig. 13 ſieht. Wenn dieſe horizontal hängt, ſo nähert man ihr den zu prüfenden Stab in vertikaler Stellung, bewegt ihn auf und nieder, ſo daß alle ſeine Punkte der Reihe nach an demſelben Pole der beweglichen Nadel vorübergehen. Wenn keine Folgepunkte vorhanden ſind, ſo beobachtet man nur einmal Anziehung und einmal Abſtoßung. Wenn aber ein Folgepunkt vorhanden iſt, ſo beobachtet man zwei Abwechſelungen, z. B. eine Anziehung, eine Abſtoßung und dann wieder eine Anziehung. Wenn zwei Folgepunkte vorhanden ſind, ſo beobachtet man einen dreimaligen Wechſel ꝛc.

Fig. 13.

Die Folgepunkte können aber auch noch dadurch ſichtbar gemacht werden, daß man den Magneten in Eiſenfeile taucht, oder daß man ihn unter ein Papierblatt legt, auf welches man Eiſenfeile fallen läßt, wo man dann die Erſcheinung Fig. 14 beobachtet.

Fig. 14.



Wir werden weiter unten ſehen, wie die Folgepunkte entſtehen, wie man ſie wegbringen und vermeiden kann, was für die Conſtruction der Bouſſolen von der größten Wichtigkeit iſt.

7 **Von den verſchiedenen magnetiſchen Subſtanzen.** Da die magnetiſchen Fluida nicht von einem Körper zum andern übergehen, da ſie gewiſſermaßen an die Moleküle der ponderabeln Materie gebunden ſind, ſo folgt, daß diejenigen einfachen Körper, welche magnetiſche Eigenſchaften

Digitized by Google

haben, dieſelben mehr oder weniger in allen Verbindungen behalten, welche ſie eingehen. In der That ſind ſehr viele eiſenhaltige Körper magnetiſch, und zwar um ſo mehr, je größer der Eiſengehalt iſt; es giebt jedoch auch viele Eiſenverbindungen, und namentlich ſolche, die verhältnißmäßig weniger Eiſen enthalten, welche durchaus nicht magnetiſch ſind. Nickel, Kobalt, Chrom und Mangan ſind außer dem Eiſen die einzigen einfachen Körper, welche magnetiſch werden können; dieſe Eigenſchaft verſchwindet aber in den meiſten ihrer chemiſchen Verbindungen faſt gänzlich.

Zweites Kapitel.

Von der magnetiſchen Wirkung der Erde.

Richtung der Magnete, Declination, Inclination. Eine an 8
einem Seidenfaden horizontal aufgehängte oder auf einer feinen Spitze bewegliche Magnetnadel iſt nicht in jeder Lage im Gleichgewichte, ſie nimmt eine beſtimmte Stellung ein, indem ſie ſich gegen einen beſtimmten Punkt des Horizonts richtet. Wenn man ſie aus dieſer Lage herausbringt, ſo kehrt ſie doch immer nach einer Reihe von Oscillationen in dieſelbe zurück. Die Kraft, welche die Nadel immer wieder in dieſe Lage zurückführt, iſt eine magnetiſche; denn eine nicht magnetiſirte Nadel zeigt nichts der Art. Dieſe merkwürdige Eigenſchaft der Magnetnadeln beobachtet man überall; in allen Welttheilen, auf allen Meeren, auf den höchſten Gipfeln der Berge und in den tiefſten Schachten, überall nimmt die Magnetnadel eine beſtimmte Richtung an, in welche ſie immer wieder zurückkehrt, wenn man ſie auch daraus entfernt. Es giebt alſo eine magnetiſche Kraft, welche an allen Punkten der Erdoberfläche thätig iſt, denn die Magnetnadeln können ſich nicht ſelbſt richten, ſo wenig wie ſich ein Körper ſelbſt in Bewegung ſetzen kann; in beiden Fällen iſt die Einwirkung einer äußern Kraft nöthig.

Wir können durch einen einfachen Verſuch darthun, daß dieſe richtende Kraft ganz in der Art wirkt wie ein Magnet und nicht wie eine Eiſenmaſſe. Wenn man die Pole einer Magnetnadel ganz und gar umkehrt, ſo iſt ſie in ihrer neuen Lage nicht im Gleichgewichte, ſie wird einen vollſtändigen Halbkreis beſchreiben, um wieder in die Gleichgewichtslage zurückzukehren und ihre urſprüngliche Richtung wieder anzunehmen. Die richtende Kraft unterſcheidet alſo die Pole, und, gerade wie ein Magnet, zieht ſie den einen Pol an und ſtößt den andern ab, während das Eiſen ſowohl den einen als auch den andern Pol eines Magneten mit gleicher Stärke anzieht.

Wo findet sich aber der Mittelpunkt dieser magnetischen Wirkung, welche so allgemein über die ganze Erde verbreitet ist? Diese Frage scheint sehr schwer zu beantworten, und sie bildete früher den Gegenstand mannigfacher Discussionen unter den Physikern. Einige setzten ihn mit Cardanus in einen kleinen Stern im Schwanz des großen Bären; Andere setzten ihn in den Pol der Ekliptik; Andere, denen sogar der Himmel zu eng war, nahmen jenseits der Gestirne einen Anziehungsmittelpunkt an, von wo aus die Kraft, welche die Magnetnadel richtet, auf die Erde gelangt. Gilbert endlich, welcher gegen das Ende des 16ten Jahrhunderts ein Werk de magnete magneticisque corporibus et magno magnete Tellure schrieb, machte allen diesen oberflächlichen Hypothesen ein Ende, indem er, soweit es damals möglich war, bewies, daß die Erdkugel selbst ein Magnet ist, und daß ihre Einwirkung es sey, welche die Magnetnadel richtet.

Indem man alle die verschiedenen Beobachtungen zusammenfaßt, welche an verschiedenen Orten gemacht worden sind, wird man wirklich dahin geleitet, die Erde als einen großen Magneten anzusehen, dessen Mittellinie in den Aequatorialgegenden liegt. Dies giebt uns ein Mittel, die beiden Pole eines Magneten passend zu bezeichnen.

Die beiden Pole des großen Erdmagneten fallen in die Nähe der Pole der Erdachse, man nennt deshalb den einen Pol den magnetischen Nordpol, den andern den Südpol. Nun aber ziehen sich die ungleichnamigen Pole an, eine Magnetnadel wird also ihren Südpol nach Norden und ihren Nordpol nach Süden kehren.

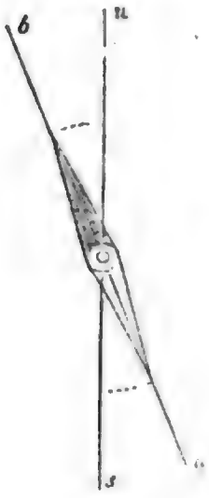
Diese Bezeichnung der Pole ist jedoch nicht allgemein angenommen; Andere nämlich bezeichnen die Pole einer Magnetnadel gerade auf die entgegengesetzte Weise, indem sie denjenigen Pol, welcher nach Norden gekehrt ist, auch den Nordpol nennen.

Wenn man an einem und demselben Orte zwei Magnetnadeln in solcher Entfernung von einander aufhängt, daß sie keinen Einfluß auf einander ausüben können, so nimmt jede eine Richtung an, welche mit der der andern parallel ist. Für solche Orte der Erde aber, welche um mehrere Längen- oder Breitengrade von einander entfernt sind, findet dieser Parallelismus nicht mehr Statt. Es ist nun von der größten Wichtigkeit, die Richtung der Magnetnadel bestimmen zu können, d. h. sie mit Linien von unveränderlicher Lage zu vergleichen, um auch an einem und demselben Orte die Variationen zu ermitteln, welche die Richtung der Magnetnadel im Laufe der Zeit erleidet, und welche Beziehungen zwischen der Richtung der Magnetnadel an verschiedenen Orten stattfindet.

Der magnetische Meridian ist diejenige vertikale Ebene, welche man sich durch die Richtungslinie eines horizontalen Magneten gelegt denken kann, oder auch nur der Durchschnitt dieser Ebene mit der Erdoberfläche.

Der magnetische Meridian eines Ortes macht nun mit dem astronomischen Meridian einen Winkel, welchen man die Declination oder Abweichung nennt. Die Declination ist östlich oder westlich, je nachdem die Magnetnadel nach der einen oder nach der andern Seite des astronomischen Meridians abweicht. In Fig. 15 z. B. stellt $s\,n$ den Meridian eines Ortes dar, $a\,b$ aber die Richtung der horizontalen Magnetnadel an demselben Orte. Die westliche Declination betrug zu Göttingen im Januar 1837 $18^0\ 37'\ 30{,}55''$: wir werden bald sehen, daß die Declination mit der Zeit sich ändert. Es giebt Orte auf der Erde, wo die Richtung der Magnetnadel vollständig mit dem Meridian zusammenfällt; an diesen Orten ist natürlich die Declination gleich Null.

Fig. 15.



Jeder Apparat, welcher dazu dient, die Declination zu messen, heißt eine Declinationsbousſole.

Fig. 16.

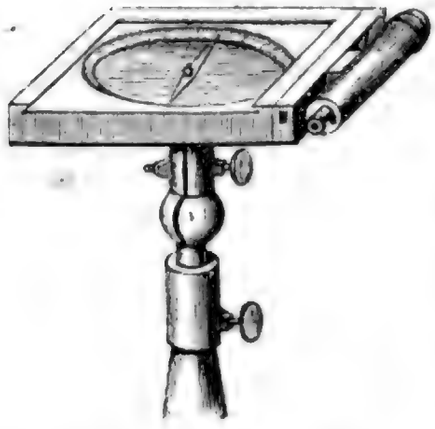


Fig. 16 stellt eine solche Bousſole ziemlich einfacher Art vor. Die Spitze, auf welche die Nadel aufgesetzt ist, ist der Mittelpunkt eines getheilten Horizontalkreises, welcher um eine vertikale Axe in seiner eigenen Ebene umgedreht werden kann. An der Seite des Gehäuses ist ein Fernrohr angebracht, dessen Axe mit derjenigen Linie parallel läuft, welche man sich vom Nullpunkte des getheilten Kreises über seinen Mittelpunkt zum Theilstriche 180′ gezogen denken kann. Je nachdem man den Horizontalkreis in seiner Ebene umdreht, wird die Spitze der Magnetnadel bei anderen Theilstrichen zu stehen kommen. Wenn man den Apparat so stellt, daß die Nadel gerade auf den Nullpunkt der Theilung zeigt, so ist die Axe des Fernrohrs mit der Nadel parallel, sie fällt mit dem magnetischen Meridian zusammen; bei jeder anderen Stellung aber zeigt die Nadel auf denjenigen Theilstrich des Kreises, welcher angiebt, wieviel Grade der Winkel beträgt, welchen die Richtung der Nadel mit der Axe des Fernrohrs (oder vielmehr der Horizontalproportion der Fernrohraxe) macht; wenn man also das Fernrohr genau in den astronomischen Meridian bringt, so kann man auf dem Theilkreise ablesen, welchen Winkel der magnetische Meridian mit dem astronomischen macht.

Dieses Instrument kann nun überhaupt als Winkelmeßinstrument dienen, weil man mit Hülfe desselben jederzeit den Winkel bestimmen kann,

welchen die Visirlinie des Fernrohrs (oder vielmehr ihre Horizontalproportion) mit dem magnetischen Meridian macht.

Die Declinationsbouſſole, deren sich die Seefahrer bedienen, ist unter dem Namen des Compasses bekannt.

Im Ganzen nähert sich die Richtung der Magnetnadel mehr der Richtung von Norden nach Süden als von Osten nach Westen, daher man denn gewöhnlich sagt, die Magnetnadel zeigt nach Norden.

Die Magnetnadeln, welche wir bisher betrachtet haben, sind in einer Weise aufgehängt, daß sie sich nur in einer horizontalen Ebene, also um eine vertikale Axe drehen können. Sowohl bei der Fig. 4, als auch Fig. 12 dargestellten Aufhängung ist die horizontale Stellung dadurch gesichert, daß der Schwerpunkt der Nadel unter dem Aufhängepunkte liegt. Sobald man aber eine Magnetnadel in ihrem Schwerpunkte selbst aufhängt, so bleibt sie nicht mehr wagerecht stehen, sondern sie macht einen Winkel mit der Horizontalen, welcher den Namen der Inclination führt.

Der Fig. 17 abgebildete Apparat ist sehr geeignet, die Inclination der Magnetnadel zu zeigen. An einem Rahmen von Messing, welcher an einem Faden aufgehängt ist, befindet sich eine sehr leicht bewegliche horizontale Axe *a b*, welche durch den Schwerpunkt einer Magnetnadel geht. Man sieht, daß eine so aufgehängte Magnetnadel um eine vertikale und um eine horizontale Axe sich drehen und also dem richtenden Einflusse der Erde ganz frei folgen kann. Die Nadel stellt sich nun so, daß ihre Richtungslinie in den magnetischen Meridian fällt, das nach Norden gekehrte Ende der Nadel aber senkt sich, die Richtungslinie der Nadel macht also einen Winkel mit der Horizontalen, der in unseren Gegenden ungefähr 70° beträgt.

Fig. 17.

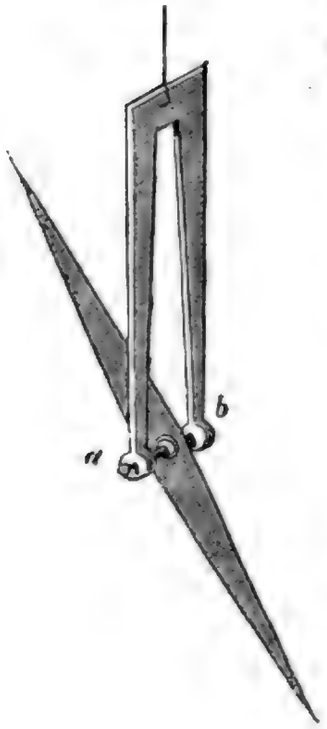
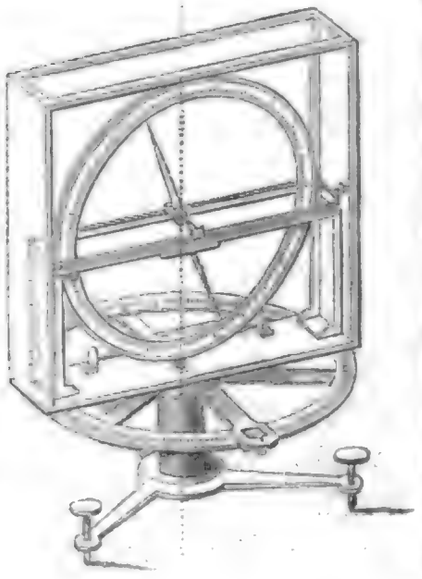


Fig. 18.



Wenn die Inclinationsnadel in einem getheilten Vertikalkreise, dessen Ebene mit der Umdrehungsebene der Nadel zusammenfällt, angebracht ist, wie Fig. 18, so kann man auf diesem Kreise die Größe der Inclination ablesen, wenn man dafür sorgt, daß die Ebene des Vertikalkreises genau in den magnetischen Meridian fällt.

Solche Apparate, welche dazu dienen, die Inclination zu messen, heißen Inclinatorien oder Inclinationsbousſolen.

Die Größe der Inclination nimmt im Allgemeinen zu, je mehr man nach Norden kommt; an manchen Orten nimmt die Inclinationsnadel eine fast senkrechte Stellung an; so beobachtete z. B. Kapitän Philipps im Jahr 1773 unter 79° 44′ nördlicher Breite eine Inclination von 82° 9′, und Parry unter 70° 47′ eine Inclination von 88° 43′. Kapitän Roß endlich hat den magnetischen Nordpol der Erde selbst erreicht. Unter 70° 5′ N. B. und 263° 14′ östlich von Greenwich fand er die Declination 90°. Die Neigung der Magnetnadel ist in hohen Breiten so bedeutend, daß der Compaß für die Seefahrer seine Brauchbarkeit verliert, wie durch die letzten Nordpolexpeditionen bewiesen ist.

Je weiter man hingegen nach Süden geht, desto mehr nimmt die Inclination ab, und in der Aequatorialzone kommt man zu einem Punkt, wo die Inclination Null ist, wo also die Inclinationsnadel vollkommen wagerecht steht; geht man noch weiter nach Süden, so beobachtet man abermals eine Inclination, aber eine entgegengesetzte, es ist nun das nach Süden gekehrte Ende, welches sich tiefer stellt. Diese Inclination nimmt nun ebenfalls mit der südlichen Breite zu. In der Nähe des Südpols der Erde giebt es demnach einen zweiten Punkt, an welchem sich die Inclinationsnadel völlig vertikal stellt, und dies ist der magnetiſche Südpol der Erde.

In welcher geographischen Länge man auch die Aequatorialzone passiren mag, so wird man doch immer einen Punkt finden, wo die Inclinationsnadel wagerecht steht. Diese Orte ohne Inclination bilden um die ganze Erde eine Kurve, welche man den magnetiſchen Aequator nennt.

Der magnetische Aequator fällt nicht mit dem Erdäquator zusammen und bildet auch keinen regelmäßigen größten Kreis der Erdkugel. Die größte südliche Breite erreicht er im atlantischen Ocean, ohngefähr 28° westlich von Paris, wo er sich 14° südlich vom Erdäquator findet. Mehr nach Westen hin nähert sich der magnetische Aequator dem Erdäquator und erreicht ihn 120° westl. von Paris; hier aber tritt er nicht auf die nördliche Halbkugel, sondern wendet sich abermals nach Süden, um 160° westl. von Paris ein zweites südliches Maximum von 3° 75′ zu erreichen. Im 174sten Längengrade schneidet er den Erdäquator und bleibt von da auf der nördlichen Halbkugel, um 18° östlich von Paris den Erdäquator abermals zu schneiden. Der magnetische Aequator hat 62° östlich von Paris eine nördliche Breite von 11° 47′; 150° östlich von Paris ist seine nördliche Breite 7° 44′; 130° östlich von Paris ist sie 8° 57′. Diese Angaben reichen hin, um im Allgemeinen die Lage des magnetischen Aequators zu bestimmen

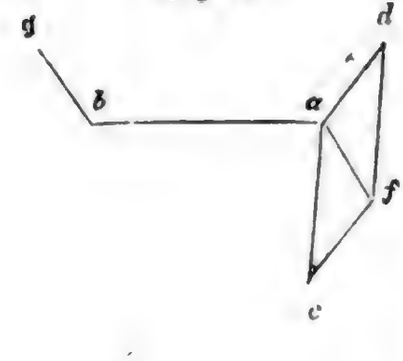
nnd die Unregelmäßigkeit seines Laufs zu zeigen, für die man bis jetzt noch keinen genügenden Grund anzugeben weiß.

9 **Die Wirkung der Erde auf einen Magneten kann als ein System von parallelen und entgegengesetzten Kräften betrachtet werden.** Die Totalwirkung, welche die Erde auf eine Magnetnadel ausübt, ist nur eine richtende, aber keine anziehende, denn wenn letzteres der Fall wäre, so müßte eine Magnetnadel mehr wiegen, als vorher, da sie noch nicht magnetisch gemacht worden war. Wenn man eine Magnetnadel auf einen Kork legt, welcher auf Wasser schwimmt, so stellt sie sich in den magnetischen Meridian, sie zeigt aber kein Bestreben, nach Norden zu schwimmen, wie man vielleicht hätte erwarten können.

Nähert man der schwimmenden Nadel einen Magnet, so findet entweder eine Anziehung oder eine Abstoßung Statt, je nachdem man sich mit dem einen oder dem andern Pol des Magneten nähert; die Nadel schwimmt dem Magneten entweder zu oder von ihm weg. Warum schwimmt nun die Nadel nicht dem magnetischen Nordpol zu, wenn sich doch die Erde nicht anders als ein großer Magnet verhält? Der Grund ist folgender: Die Kraft der magnetischen Anziehung nimmt mit der Entfernung ab, wie wir bald sehen werden. Wenn man nun einen Magneten der schwimmenden Nadel nähert, so sind die beiden Pole der Nadel nicht gleich weit vom genäherten Pol des Magneten entfernt, folglich muß entweder die abstoßende oder die anziehende Kraft überwiegen und mithin auch eine Fortbewegung erfolgen. Der magnetische Nordpol der Erde ist aber nun von der schwimmenden Nadel so außerordentlich weit entfernt, daß die Länge der Nadel gegen diese Entfernung eine völlig verschwindende Größe ist, der eine Pol der Nadel wird also ebenso stark angezogen als der andere abgestoßen wird.

Nehmen wir das Wort Pol in der dritten der oben angegebenen Bedeutungen, nämlich als Mittelpunkt der magnetischen Kraft, so sind wir nicht im Stande, die Lage der magnetischen Pole der Erde zu bestimmen, wir können nur ermitteln, wo ungefähr die magnetische Erdaxe die Oberfläche der Erde trifft, also die beiden Endpunkte des großen Erdmagneten. Welches aber auch die Lage der magnetischen Pole der Erde (der Mittelpunkte der magnetischen Kräfte) seyn mag, so üben doch beide einen Einfluß auf die beiden Pole des Magneten aus. Es sey Fig. 19 eine Magnetnadel, *a* der eine, *b* der andere Pol derselben. Der Nordpol der Erde wirkt anziehend auf den Pol *a* in einer Richtung, die wir nicht ermitteln können, die wir aber durch die Linie *a c* darstellen wollen. Auf denselben Pol *a* der Nadel wirkt aber der Südpol der

Fig. 19.



Erde abſtoßend in der Richtung *a d* (die auch nicht ermittelt werden kann). Weil wir nun in unſeren Gegenden dem magnetiſchen Nordpol der Erde näher ſind als dem Südpol, ſo iſt die Anziehung ſtärker als die Abſtoßung; die beiden Kräfte verbinden ſich nach dem Geſetz des Parallelogramms der Kräfte zu einer Reſultirenden *a f*. Auf den Pol *b* der Nadel wirkt nun der Nordpol der Erde abſtoßend und zwar in derſelben Richtung und mit derſelben Stärke, wie er den Pol *a* anzieht; der Südpol der Erde zieht aber den Pol *b* in derſelben Richtung und mit derſelben Stärke an, wie er den andern abſtößt. Die beiden Kräfte, welche den Pol *b* angreifen, ſind alſo den beiden in *a* angreifenden Kräften parallel, gleich und entgegengeſetzt, mithin muß auch ihre Reſultirende *b g* der Reſultirenden *a f* parallel, gleich und entgegengeſetzt ſeyn. Wenn aber die um ihren Schwerpunkt frei drehbare Nadel in ihren Polen von zwei gleichen, parallelen und entgegengeſetzten Kräften angegriffen wird, ſo werden ſie nur eine Drehung der Nadel um ihren Schwerpunkt bewirken können, die Nadel befindet ſich aber in ihrer Gleichgewichtslage, wenn die magnetiſche Axe der Nadel, d. h. die Verbindungslinie der Pole *a* und *b* in die Richtung der Reſultirenden *a f* und *b g* fällt, wenn alſo auch *a f* in der Verlängerung von *b g* liegt.

Dieſe Gleichgewichtslage beobachten wir nun an der Inclinationsnadel; die Richtung der Inclinationsnadel fällt mit der Reſultirenden der auf die Nadel wirkenden magnetiſchen Kräfte der Erde zuſammen.

Bei der Declinationsnadel iſt ein Theil der Wirkung der magnetiſchen Erdkräfte durch die Art, wie die Nadel aufgehängt iſt, aufgehoben, bei der Declinationsnadel kommt nur die horizontale Compoſante der die Nadel richtenden magnetiſchen Erdkraft zur Wirkung, und dieſe horizontale Compoſante wird natürlicher Weiſe um ſo geringer ſeyn, je mehr die Inclination der Nadel wächſt. Je weiter man ſich alſo vom magnetiſchen Aequator entfernt, um ſo geringer iſt die Kraft, welche die Declinationsnadel richtet.

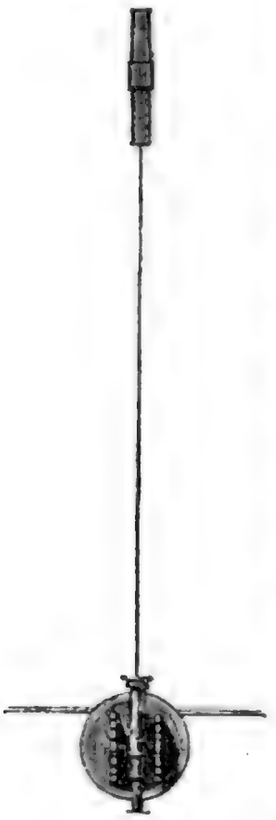
Meſſung der Declination und Inclination. Die Beſchreibung 10
der Declinationsbouſſolen, welche man ſonſt zur genauen Beſtimmung der magnetiſchen Declination anwandte, können wir füglich hier übergehen, weil ſie für dieſen Zweck wenigſtens durch die von Gauß angegebene Methode, vermittelſt welcher man die Declination mit aſtronomiſcher Genauigkeit meſſen kann, völlig entbehrlich geworden ſind. Was die Anwendung der Bouſſolen als Winkelmeßinſtrumente betrifft, ſo gehört dies nicht hierher, und die Anwendung der Magnetnadel im Compaß iſt hinreichend bekannt, ſo daß es hier wohl genügt, denſelben zu nennen.

Gauß wendet zu ſeinen Verſuchen ſtatt der kleinen Nadeln Magnetſtäbe von bedeutenden Dimenſionen an. Er wandte Stäbe an, welche 5, ja

solche, welche 25 Pfund wogen. Die Mitte des Stabes steckt in einer Hülse von Messing, welche von einem in der Mitte der Decke der Saals befestigten 200fachen 7 Fuß langen ungedrehten Seidenfaden oder an einem Metallfaden getragen wird. Der Stab trägt an seinem nördlichen oder südlichen Ende einen Planspiegel, dessen Ebene mit der magnetischen Axe des Stabes einen rechten Winkel macht.

Dem Spiegel gegenüber ist in einer Entfernung von 16 Fuß ein Theodolith aufgestellt, ungefähr wie es in Fig. 20 angedeutet ist. Die optische Axe des Fernrohrs ist etwas höher als die Nadel und so abwärts geneigt, daß sie gegen die Mitte des Spiegels gerichtet ist.

Fig. 20.



Am Stativ des Theodolithen ist eine 4 Fuß lange in Millimeter getheilte horizontale Scala befestigt, die auf der Richtung des magnetischen Meridians rechtwinklig steht. Derjenige Punkt der Scala, welcher mit der optischen Axe des Fernrohrs in einer Vertikalebene liegt und hier der Kürze wegen der Mittelpunkt heißen mag, wird durch einen von der Mitte des Objectivs herabhängenden mit einem Gewicht beschwerten feinen Goldfaden bezeichnet. Die Scala ist in einer solchen Höhe befestigt, daß das Bild eines Theils derselben im Spiegel durch das Fernrohr gesehen wird.

Wenn nun die magnetische Axe des Stabes und die Horizontalprojection der optischen Axe des Fernrohrs zusammenfallen, so wird das Bild des Nullpunkts genau in der optischen Axe des Fernrohrs erscheinen. Wenn alle diese Bedingungen erfüllt sind, so ist die Vertikalebene des Fernrohrs auch genau die des magnetischen Meridians, und man hat nun auch auszumitteln, welchen Winkel die Vertikalebene des Fernrohrs mit dem astronomischen Meridian macht.

Wenn aber diese Bedingungen nicht genau erfüllt sind, wenn die Axe des Magneten nicht in die Vertikalebene des Fernrohrs fällt, sondern etwas davon abweicht, so erscheint auch nicht mehr der Nullpunkt der Scala in der Axe des Fernrohrs, sondern irgend ein anderer Theilstrich. Wenn die Entfernung des Spiegels von der Scala genau gemessen ist, so läßt sich der Betrag der Scalentheile leicht in Winkel reduciren. Bei dem eben besprochenen Apparate beträgt 1 Scalentheil 22 Secunden, und da ein nur etwas geübtes Auge ein solches Intervall noch leicht in 10 Theile theilt, so kann man die Abweichung des Stabes von der Vertikalebene des Fernrohrs noch auf 2 Secunden genau ausmitteln und also auch den Winkel,

den die Axe des Stabes mit dem aſtronomiſchen Meridian macht, aufs genaueſte meſſen.

Wenn man die Inclination der Magnetnadel meſſen will, ſo muß die horizontale Axe der Inclinationsnadel durch den Mittelpunkt eines getheilten Kreiſes gehen, deſſen Durchmeſſer der Länge der Nadel gleich iſt wie Fig. 18. Man kann an dieſem getheilten Kreiſe den Winkel ableſen, welchen die Nadel mit der Horizontalen macht. Wenn dieſe Ableſung den wahren Werth der Inclination geben ſoll, ſo muß natürlich die Nadel mit dem getheilten Kreiſe ſich genau im magnetiſchen Meridian befinden. Die Conſtruction eines ſolchen Inſtrumentes iſt außerordentlich delicat, weil es ſehr ſchwer hält, eine Magnetnadel genau in ihrem Schwerpunkt zu unterſtützen und um eine horizontale Axe ſehr beweglich zu machen. Deshalb kann auch die Inclination mittelſt ſolcher Inclination ungleich weniger genau beſtimmt werden, als die Declination.

Die Entdeckung der Inclination wird gewöhnlich einem Engländer Robert Normann zugeſchrieben, der wenigſtens im Jahr 1576 ein Inclinatorium conſtruirt hat. Schon 33 Jahre früher aber kannte Georg Hartmann, Vicar zu St. Sebald in Nürnberg, die Inclination der Magnetnadel. Ihm iſt auch die Entdeckung des Geſetzes zuzuſchreiben, daß gleichnamige Polaritäten ſich abſtoßen, ungleichnamige ſich anziehen.

Variationen der Declination und Inclination. Die Declination 11
iſt ebenſo wenig wie die Inclination unveränderlich, wie man leicht aus den folgenden Tabellen erſieht, welche die Größe der Declination und Inclination angeben, wie ſie zu verſchiedenen Zeiten in Paris beobachtet wurde.

Declination für Paris.

Jahr.	Declination.	Jahr.	Declination.
1580	11° 30′ öſtl.	1814	22° 34′ weſtl.
1618	8 »	1816	22 25 »
1663	0 »	1825	22 22 »
1700	8 10 weſtl.	1828	22 5 »
1780	19 55 »	1832	22 3 »
1805	22 5 »	1835	22 4 »

Man ſieht aus dieſer Tabelle

1) daß von 1580 an die Declination ſich um mehr als 30° geändert hat.
2) daß ſie im Jahr 1663 Null war.
3) daß ſie bis 1814 immer nach Weſten vorſchritt.
4) daß ſie von 1814 an eine retrograde Bewegung nach Oſten hin erlitten hat.

Die Inclination ändert sich ebenso wie die Declination im Laufe der Zeit, wie man aus folgender Tabelle sieht.

Inclination für Paris.

Jahr.	Inclination.	Jahr.	Inclination.
1671	75°	1820	68° 20′
1780	71 48′	1825	68 0
1806	69 12	1831	67 40
1814	68 36	1835	67 24

Wenn auch die früheren Bestimmungen nicht sehr genau sind, so ist doch eine fortwährende Abnahme der Inclination bewiesen.

Die angeführten Veränderungen der Declination und Inclination nennt man seculare Variationen.

Wenn man eine Declinationsnadel aufmerksam beobachtet, so findet man, daß sie fortwährenden Schwankungen unterworfen ist, indem sie sich bald östlich, bald westlich von ihrer mittlern Lage entfernt. Die Schwankungen sind bald zufällig und plötzlich, bald regelmäßig und periodisch. — Die ersteren nennt man Störungen, die letzteren tägliche Variationen. Im Allgemeinen beobachtet man z. B. in Paris folgenden Gang der täglichen Variationen. Während der Nacht ist die Nadel fast stationär, mit Sonnenaufgang aber fängt das Nordende der Nadel an sich nach Westen zu bewegen. Gegen 5 Uhr Nachmittags erreicht die westliche Ablenkung ihr Maximum, die Nadel geht dann bis 9, 10 oder 11 Uhr Abends nach Osten zurück.

Die Amplitude der täglichen Variationen, d. h. der Winkel zwischen dem östlichen und westlichen Stande der Nadel, ist veränderlich; sie ist in den Sommermonaten am größten. Ihr Mittelwerth beträgt vom April bis zum September 13 bis 15 Minuten, vom October bis zum März nur 8 bis 10 Minuten. An manchen Tagen beträgt die Amplitude 25′, an anderen dagegen nur 5′ bis 6′.

Die Mittelwerthe für die Amplitude in verschiedenen Monaten sind nach Beobachtungen in Göttingen folgende:

Januar . .	6,7,	Juli	12,1′
Februar . .	7,4	August. . .	13,0
März . . .	11,9	September	11,8
April. . . .	13,9	October. .	10,3
Mai	13,5	November .	6,9
Juni. . . .	12,5	December .	5,0.

In nördlichen Gegenden ſind im Allgemeinen die täglichen Variationen bedeutender und weniger regelmäßig. Auch während der Nacht iſt die Nadel weniger ſtationär; jemehr man ſich dagegen dem magnetiſchen Aequator nähert, deſto mehr nimmt die Größe der täglichen Variationen ab, und auf dem magnetiſchen Meridian ſelbſt iſt ſie ganz unmerklich.

Südlich vom magnetiſchen Aequator finden die täglichen Variationen in entgegengeſetzter Richtung Statt, d. h. hier bewegt ſich das Südende der Nadel nach Weſten, während nördlich vom magnetiſchen Aequator das Nordende ſich nach dieſer Richtung bewegt; und wenn auf der nördlichen Hemiſphäre das Nordende der Nadel ſich nach Oſten bewegt, ſo hat auf der ſüdlichen Halbkugel das Südende der Nadel eine öſtliche Bewegung.

Die Beobachtung der täglichen Variationen erfordert ſehr genaue Inſtrumente. Alle früher angewandten werden in dieſer Hinſicht von dem ſchon oben, Seite 20 angeführten Gaußiſchen Apparat übertroffen, der die geringſten Veränderungen in der Lage der Magnetnadel angiebt. Mit dem Gaußiſchen Magnetometer werden bereits an vielen Orten, ſowohl in Europa, als auch in anderen Welttheilen an vorausbeſtimmten Terminen gleichzeitig Beobachtungen angeſtellt; von dieſen Beobachtungen dürfen wir bedeutende Fortſchritte unſerer Kenntniſſe der wunderbaren Störungen des Erdmagnetismus erwarten, namentlich, da ſie jetzt auch auf weiter von einander entlegenere Orte ausgedehnt worden ſind.

Auch die Inclination iſt ſolchen täglichen Variationen unterworfen, wie dies zuerſt Graham im Jahr 1772 beobachtet hat, jedoch iſt die Amplitude dieſer Variationen geringer als bei der Declination, und ſie laſſen ſich überhaupt bei weitem nicht mit der Genauigkeit beobachten, wie die Variationen der Declination.

Störungen der Magnetnadel. Es giebt verſchiedene Einflüſſe, welche 12
plötzlich die Richtung der Magnetnadel ändern und die Regelmäßigkeit der täglichen Variationen ſtören. Unter allen dieſen Einflüſſen wirkt das Nordlicht am ſtärkſten. Wenn dieſes Meteor am Himmel erſcheint, iſt die Magnetnadel in beſtändiger Bewegung und erleidet eine bedeutende Ablenkung. Die Nadel iſt aber nicht allein an den Orten bewegt, wo gerade das Nordlicht ſichtbar iſt, ſondern auch noch an weit entfernten Orten, wo man keine Spur des Nordlichts am Himmel ſieht. Im allgemeinen jedoch ſind die Schwankungen um ſo ſtärker, je näher man dem Phänomen iſt und je intenſiver es erſcheint. Wenn man in den Obſervatorien die Declinationsnadel beobachtet, ſieht man ſie auf einmal unruhig werden und Schwankungen machen, deren Amplitude mehr als einen Grad beträgt, ohne daß man eine Urſache finden kann; man erfährt dann gewöhnlich bald, daß an anderen Orten die Bouſſolen ähnlichen Bewegungen unterworfen waren, und daß man in nördlichen Gegenden ein brillantes Nordlicht

beobachtete. So ist ein Beobachter in seinem Cabinet durch seine Bousſole von dem unterrichtet, was in den Polargegenden vorgeht. —

Erdbeben und vulkanische Eruptionen scheinen auch auf die Nadel einzuwirken, und manchmal haben sie eine permanente Veränderung ihrer Lage zu Folge. So sah D. Bernoulli im Jahr 1767, daß während eines Erdbebens die Inclination um ½ Grad abnahm, und bei einem Ausbruch des Vesuvs bemerkte Pater de la Torre, daß sich die Declination um mehrere Grade änderte.

13 **Intensität des Erdmagnetismus.** Einer der wichtigsten Punkte für die Theorie des Erdmagnetismus ist die Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten der Erde und zu verschiedenen Zeiten. Erst in den neuesten Zeiten sind darüber genaue Untersuchungen angestellt worden. Graham scheint sich zuerst im Jahre 1722 mit dieser Frage beschäftigt zu haben. Borda gab zuerst eine genaue Methode an, um die Intensitäten des Erdmagnetismus verschiedener Orte mit einander zu vergleichen, und Humboldt wandte diese Methode auf seiner Reise nach Amerika, sowie auf einer anderen Reise durch Frankreich, Italien und Deutschland an. Gauß endlich gab eine Methode an, die Intensität der magnetischen Erdkraft auf ein absolutes Maaß zurückzuführen. Seine Arbeiten über diesen Gegenstand gehören unstreitig zu den geistreichsten und ausgezeichnetsten Productionen, deren sich die Wissenschaft je zu erfreuen hatte.

Borda's Methode besteht darin, die Oscillationsdauer einer und derselben Nadel an verschiedenen Orten zu beobachten, und aus der Veränderung der Schwingungsdauer auf die Aenderung der Intensität des Erdmagnetismus zu schließen. Eine Magnetnadel, eine Declinationsnadel sowohl wie eine Inclinationsnadel, aus ihrer Gleichgewichtslage etwas entfernt und dann sich selbst überlassen, oscillirt wie ein Pendel, und in der That sind auch diese Oscillationen ganz den Gesetzen unterworfen, welche wir oben für das gewöhnliche Pendel kennen gelernt haben; nur ist hier der Magnetismus, dort die Schwere die Ursache der Schwingungen. Wir haben dort gesehen, daß sich die Schwingungszeiten umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den beschleunigenden Kräften, daß also die beschleunigenden Kräfte sich umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten verhalten. Wenn also eine und dieselbe Nadel etwa an einem Orte doppelt so schnell oscillirt als am andern, so wäre hier die magnetische Kraft 4mal so groß als dort.

Es sey M die magnetische Kraft, welche an einem Orte die schwingende Nadel beschleunigt, und N die Anzahl der Oscillationen, welche sie in einer gegebenen Zeit, etwa in 5 Minuten, macht; ferner sey m die beschleunigende Kraft, welche an einem zweiten Ort auf dieselbe Nadel wirkt, und n die Zahl der Oscillationen, welche sie in derselben Zeit, also auch in 5 Minuten, macht, so hat man

$$\frac{M}{m} = \frac{N^2}{n^2}$$

Hätte man z. B. am erſten Orte $N = 25$, am zweiten $n = 24$ gefunden, ſo hätte man

$$\frac{M}{m} = \frac{625}{576} = 1{,}085$$

das heißt, wenn man die magnetiſche Kraft, welche am zweiten Orte auf die Nadel wirkt, zur Einheit nimmt, ſo iſt dieſe Kraft am erſten Orte 1,085.

Wenn man nun annehmen kann, daß ſich der magnetiſche Zuſtand der Nadel von einem Verſuch zum andern nicht geändert habe, ſo findet man auf dieſe Weiſe das Verhältniß der erdmagnetiſchen Kraft für zwei verſchiedene Orte der Erde.

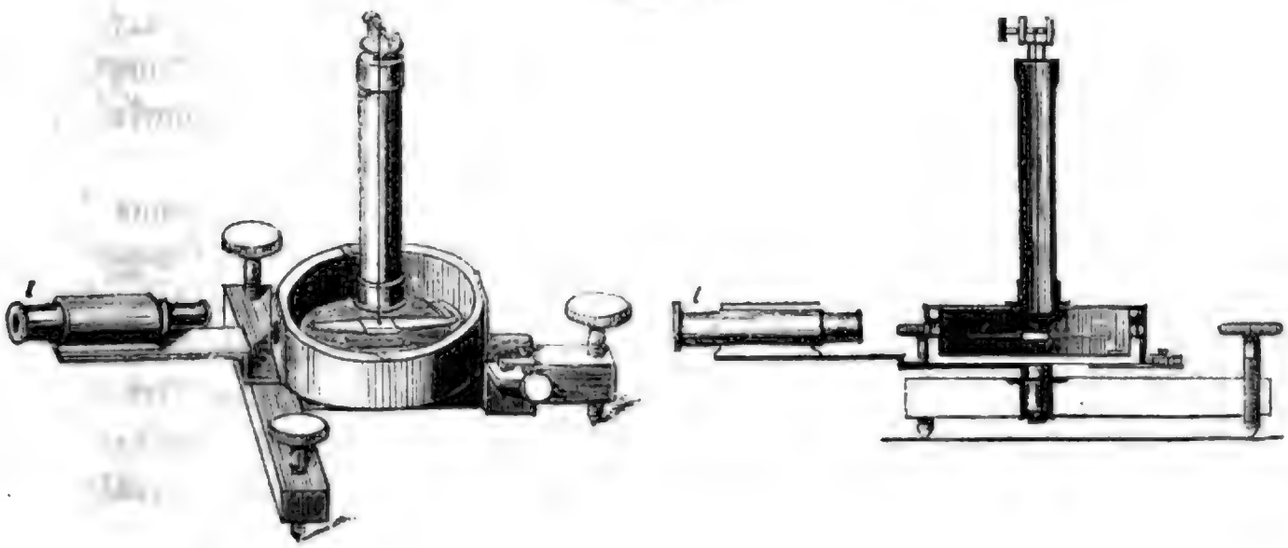
Um die Intenſität der ganzen magnetiſchen Erdkraft für verſchiedene Orte mit einander zu vergleichen, muß man zu dieſen Oscillationsverſuchen natürlich Inclinationsnadeln anwenden. Weil aber Verſuche mit dieſen immer weniger genaue Reſultate geben, ſo zieht man vor, Oscillationsverſuche mit der Declinationsnadel zu machen.

Die Kraft, welche die Declinationsnadel oscilliren macht, iſt nur ein Theil der ganzen magnetiſchen Erdkraft, und zwar iſt dieſer Antheil um ſo kleiner, je größer die Inclinationsnadel iſt.

Wenn M die in der Richtung der Inclinationsnadel wirkende ganze magnetiſche Erdkraft iſt und mit i der Inclinationsnadel bezeichnet wird, ſo iſt $M \cos. i$ die horizontale Compoſante derſelben, alſo die Kraft, welche die Declinationsnadel oscilliren macht. Bezeichnet aber m die horizontale Compoſante der magnetiſchen Erdkraft, ſo iſt die totale $\frac{m}{\cos. i}$.

Auf Reiſen wird häufig die Fig. 21 abgebildete Gambay'ſche Intenſitätsbouſſole angewandt, um die Intenſität der horizontalen Compoſante

Fig. 21.



der magnetischen Erdkraft zu bestimmen. Der runde Kasten ist von Holz; er ist oben mit einer Glasplatte versehen und hat außerdem diametral gegenüberstehend in der Seitenwand zwei Fensterchen. Die Oscillationen der Nadel werden durch das Fernrohr *l* beobachtet.

Wenn man die Resultate der Intensitätsbestimmungen zusammenstellt, welche an verschiedenen Orten der Erdoberfläche gemacht worden sind, ergiebt sich das allgemeine Resultat, daß die totale Intensität in der Nähe des magnetischen Aequators am kleinsten ist und daß sie um so mehr wächst, je mehr man sich von demselben nach Norden oder Süden entfernt. In der Nähe der magnetischen Pole ist sie ungefähr 1,5mal so groß als am Aequator. An einem und demselben Orte ist aber die Intensität auch veränderlich und wie die Declination und Inclination täglichen Variationen unterworfen.

Die Schwingungsmethode giebt nur die Verhältnißzahlen der erdmagnetischen Kraft, ohne sie auf ein absolutes Maaß zurückzuführen. Außerdem hat diese Methode noch den Nachtheil, daß man nicht immer sicher seyn kann, daß der magnetische Zustand der Nadel selbst sich nicht geändert habe und man also Gefahr läuft, Veränderungen in diesem Zustand den Veränderungen der erdmagnetischen Kraft zuzurechnen. Von allen diesen Mängeln ist die Gaußische Methode der Intensitätsbestimmung frei; wir wollen versuchen, die Grundsätze derselben, so weit es auf elementare Weise möglich ist, auseinander zu setzen, müssen dies jedoch für das folgende Kapitel verschieben.

14 **Einfluß des Erdmagnetismus auf das Eisen.** Wenn man eine Stange von weichem Eisen, welche 6 bis 10 Decimeter lang ist, in die Richtung der Inclinationsnadel hält, so wird sie durch den Einfluß des Erdmagnetismus selbst magnetisch und zwar wird ihr unteres Ende ein Südpol, ihr oberes ein Nordpol, wie man leicht sehen kann, wenn man eine kleine empfindliche Magnetnadel bald dem obern, bald dem untern Ende der Stange nähert. Derselbe Pol der Nadel wird von dem einen Ende des Stabes angezogen, von dem andern abgestoßen; man erkennt auf diese Weise sogleich den polarisch magnetischen Zustand des Stabes. Kehrt man den Stab um, so sind sogleich auch seine Pole umgekehrt, das untere Ende ist wieder ein Südpol, das obere wieder ein Nordpol.

Dieselbe Wirkung, nur etwas schwächer, bringt auch der Erdmagnetismus auf eine vertikal hängende Eisenstange hervor, überhaupt auf jede Eisenstange, welchen Winkel sie auch mit der Richtung der Inclinationsnadel macht, nur ist die Wirkung um so geringer, je mehr sie sich von der Richtung der Inclinationsnadel entfernt. Denselben Einfluß äußert der Erdmagnetismus auch mehr oder weniger auf alle Eisenmassen, alles weiche Eisen muß also unter dem Einfluß des Erdmagnetismus einen polaren

Magnetismus annehmen, der ſich je nach den Umſtänden deutlicher oder weniger deutlich nachweiſen läßt.

Wenn eine Stange von Eiſen durch den vertheilenden Einfluß des Erdmagnetismus ſelbſt zum Magneten gemacht iſt, ſo reichen einige Schläge mit dem Hammer hin, um den Magnetismus zu fixiren und die Stange zu einem bleibenden Magneten zu machen; durch das Schlagen wird alſo dem Eiſen eine Coërcitivkraft ertheilt, welche hindert, daß die durch den Einfluß der Erde im Eiſen getrennten magnetiſchen Fluida ſich wieder vereinigen. Dadurch erklärt ſich auch, daß faſt alle Werkzeuge in der Werkſtatt eines Schloſſers Magnete ſind.

Es ſcheint, daß auch chemiſche Veränderungen ähnlich wirken wie mechaniſche Erſchütterungen, um den durch die Erde vertheilten Magnetismus des Eiſens zu fixiren, denn man findet, daß Eiſenſtangen, welche längere Zeit vertikal ſtanden und in dieſer Stellung roſteten, einen bleibenden Magnetismus erhalten haben. Ein gewiſſer Julius Cäſar, Chirurg zu Rimini, beobachtete zuerſt im Jahr 1590 an einer Eiſenſtange des Thurmes der Kirche des heil. Auguſtin, daß ſie durch den Einfluß der Erde magnetiſch geworden war. Später, um das Jahr 1630, machte Gaſſendi dieſelbe Beobachtung an dem Kreuze des Thurmes der St. Johanneskirche zu Aix, welches vom Blitze heruntergeſchlagen worden war. Es war ſtark verroſtet und hatte alle Eigenſchaften eines Magneten. Seitdem haben ſich ſolche Beobachtungnn ſehr vermehrt, und man hat allgemein gefunden, daß ein etwas geroſtetes Eiſen ſtets ein mehr oder weniger ſtarker Magnet iſt.

Wenn man einen Hufeiſenmagneten in Eiſenfeile taucht, ſo hängt ſich zwiſchen den Polen ein Bündel derſelben an; wenn man ſie nun mit etwas Oel befeuchtet und dann zum Glühen erhitzt, während ſie noch immer dem vertheilenden Einfluſſe des Magneten ausgeſetzt ſind, ſo geht eine theilweiſe Oxydation des Eiſens vor ſich, man erhält eine ziemlich compacte Maſſe, deren Zuſammenſetzung der der natürlichen Magnete ähnlich iſt und welche ebenfalls bleibend magnetiſch iſt.

Drittes Kapitel.

Von den Geſetzen und der Theorie des Magnetismus.

Verſchiedene Mittel, die magnetiſchen Kräfte zu meſſen. 15
Das erſte Mittel, welches ſich darbietet, die Stücke natürlicher und künſtli-

cher Magnete zu vergleichen, beſteht darin, ſie mit einem Stück Eiſen in Verbindung zu bringen, welches man mehr und mehr mit Gewichten belaſtet, bis es endlich abreißt und auf dieſe Weiſe alſo die Tragkraft des Magneten ermittelt. Dieſes Mittel kann nur eine rohe Annäherung geben, wie wir bald ſehen werden, es war jedoch das einzige, welches man bis 1780 anwandte.

In dieſer Zeit brach Coulomb durch ſeine ſchönen Entdeckungen eine neue Bahn in der Wiſſenſchaft. Er gab Methoden an, um die magnetiſchen Kräfte mit äußerſter Genauigkeit zu meſſen.

Coulomb wandte zwei verſchiedene Mittel an, um die Stärke der Magnete zu meſſen. 1) die Oscillationen einer an einem Seiden- oder Platinfaden aufgehängten Nadel. 2) die Drehung von Kupfer- oder Silberfäden in der Torſionswage, welche man jetzt die Coulomb'ſche Drehwage nennt.

16 **Methode der Oscillationen.** Eine Magnetnadel, welche unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus oscillirt, kann als ein zuſammengeſetztes Pendel betrachtet werden, und die abſolute Größe der Kraft, welche ſie in Bewegung ſetzt, läßt ſich ausmitteln, wenn man das Trägheitsmoment der Nadel in Beziehung auf ihre Anhängungsaxe und die Zahl der Schwingungen kennt, welche ſie in einer gegebenen Zeit macht. Wir werden auf dieſen Punkt im nächſten Kapitel zurückkehren, wo von der Beſtimmung der Intenſität des Erdmagnetismus die Rede ſeyn wird. Die abſolute Kraft aber, unter deren Einfluß die Nadel oscillirt, iſt ein zuſammengeſetztes Element, welches zugleich von der Intenſität des Erdmagnetismus und dem magnetiſchen Zuſtande der Nadel abhängt.

Auf eine oscillirende Magnetnadel laſſen ſich alle Geſetze der Pendelbewegungen anwenden, woraus ſich ergiebt, daß die magnetiſchen Kräfte, welche auf eine Magnetnadel einwirken, ſich umgekehrt verhalten wie die Quadrate der Schwingungszeiten.

Nehmen wir zwei ganz gleiche, aber ungleich ſtark magnetiſirte Nadeln, ſo werden dieſe unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus nicht gleich ſchnell oscilliren. Bezeichnen wir mit f die Kraft, welche auf die eine Nadel wirkt, mit t die Anzahl der Sekunden, während welcher eine Oscillation vollendet wird, ferner mit f' und t' die entſprechenden Größen für die andere Nadel, ſo verhalten ſich die Kräfte f und f' umgekehrt wie die Quadrate von t und t', es iſt alſo

$$\frac{f}{f'} = \frac{t'^2}{t^2}.$$

Hätte z. B. die eine Nadel 6 Sekunden, die andere aber nur 4″ zu ei-

ner Oscillation gebraucht, so könnte man nach diesem Gesetze schließen, daß die magnetische Kraft, welche die letztere beschleunigt, sich zu der der erstern verhält wie 36 zu 16.

Die Schwingungszeit verhält sich offenbar umgekehrt wie die Zahl der Schwingungen, die in einer gegebenen Zeit, etwa in 1 Minute, gemacht werden. Bezeichnet man mit n die Anzahl der Schwingungen, welche die erste der beiden Nadeln in einer Sekunde macht, mit n' die entsprechende Zahl für die zweite Nadel, so hat man

$$\frac{f}{f'} = \frac{n^2}{n'^2}.$$

Wenn außer dem Erdmagnetismus noch ein anderer Magnet auf eine oscillirende Nadel einwirkt, so können dadurch, je nach den Umständen, die Oscillationen schneller oder langsamer werden, als es unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus der Fall gewesen wäre, immer aber läßt sich aus der beobachteten Schwingungsdauer auf das Verhältniß der beschleunigenden Kräfte schließen.

Nehmen wir an, man habe eine an einem ungedrehten Seidenfaden aufgehängte Nadel nur unter dem Einflusse des Erdmagnetismus schwingen lassen und die Schwingungsdauer t beobachtet, und näheren dann der Nadel einen Magneten in der Art, daß dem Nordpol der Nadel der Südpol des Magneten zugekehrt ist, so werden offenbar die Oscillationen schneller werden, die jetzt beobachtete Schwingungsdauer t' ist kleiner als t. Wenn f die Kraft bezeichnet, welche die Nadel beschleunigt, wenn nur der Erdmagnetismus wirkt, f' aber die durch die Annäherung des zweiten Magneten modificirte Kraft, so haben wir wieder

$$\frac{f}{f'} = \frac{t'^2}{t^2}.$$

Die Drehwage. Wenn ein Metallfaden durch ein angehängtes Gewicht in vertikaler Richtung gespannt ist, so nimmt er eine Gleichgewichtslage an. Wenn man das Gewicht durch Drehung aus dieser Gleichgewichtslage herausbringt, so erleidet der Faden seiner ganzen Länge nach eine Torsion, eine Windung, in Folge dessen er ein Bestreben hat, das Gewicht wieder in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen. 17

Coulomb hat zuerst die Torsionskraft studirt und, wie wir schon oben (Band I. Seite 59) gesehen haben, gefunden, daß die Kraft, mit welcher der Draht in die Gleichgewichtslage zurückzukehren strebt, der Größe der Torsion proportional sey.

Die Coulomb'sche Drehwage ist Fig. 22 dargestellt. Fig. 23 auf der folgenden Seite zeigt den obern Theil in einem größern Maaßstabe. Der verti-

kale Cylinder, in welchem der Faden herabhängt, endet mit einer kreisförmigen Platte $s\,s'$, die in der Mitte durchbrochen ist. Auf dieser Scheibe läßt sich mit sanfter Reibung eine zweite Platte $m\,m'$ drehen. Ein hervorragender Ring der Scheibe $s\,s'$ sichert die centrale Bewegung der Scheibe $m\,m'$. In der Mitte hat die Scheibe $m\,m'$ eine dreieckige Oeffnung, welche so liegt, daß der eine Eckwinkel genau mit dem Mittelpunkt zusammenfällt. In der Spitze dieses Winkels hängt der Faden herab, welcher oben um eine horizontale Axe gewunden ist, die von zwei festen Stücken p und p' getragen wird. Die Platte $s\,s'$ ist in ihrem äußeren Umfange in Grade getheilt, und die Scheibe $m\,m'$ hat einen Index, mittelst dessen man die Größe der vorgenommenen Drehungen ablesen kann.

Fig. 22.

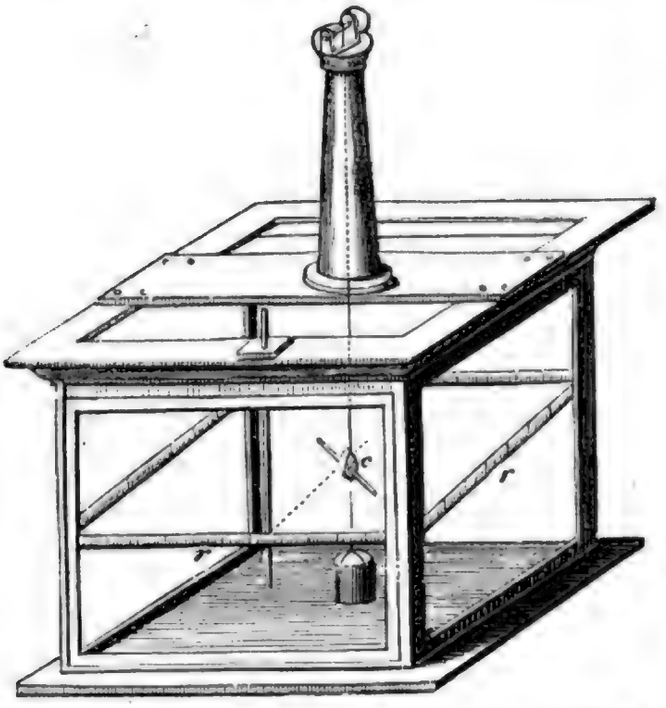
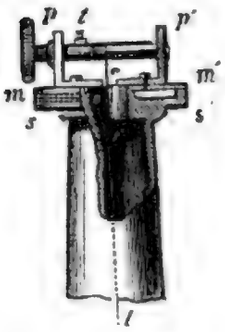


Fig. 23.



Am untern Ende des Fadens hängt eine Art Bügel von Messing, in welchen man die Magnetnadeln oder Stäbe hineinlegt. Am Umfange des Kastens ist ein Papierstreifen aufgeklebt, welcher von Grad zu Grad getheilt ist. Die Größe dieser Abtheilungen ist natürlich nicht gleich; sie ist immer von der Art, daß, wenn man sich von zwei auf einander folgenden Theilstrichen Linien nach dem Mittelpunkte gezogen denkt, dieselben einen Winkel von 1^0 mit einander machen. Der Faden muß genau im Mittelpunkte dieser Theilung hängen.

Wenn das Instrument gehörig justirt ist, bestimmt man die Gleichgewichtslage des Fadens, indem man eine nicht magnetisirte Nadel in den Bügel c legt. Man dreht nun an dem obern Mikrometer so lange, bis der unmagnetische Stab genau in dem magnetischen Meridian liegt; wenn man nun eine magnetisirte Nadel in den Bügel legt, so wird sie durch zwei Kräfte in dieser Lage zurückgehalten, durch die richtende Kraft des Erdmagnetismus und durch den Faden, welcher bei dieser Lage ohne Torsion ist.

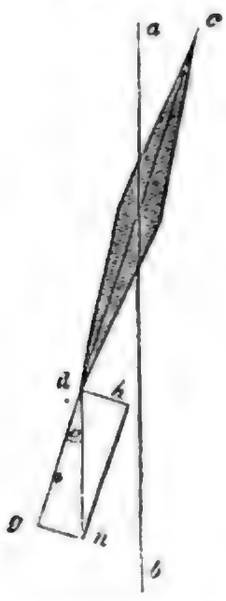
Wenn nun oben das Mikrometer gedreht wird, so würde auch die Nadel dieser Drehung folgen, wenn sie nicht magnetisch wäre. Der Faden strebt

die Nadel in diejenige Lage zu bringen, bei welcher er ohne Torsion seyn würde, der Erdmagnetismus aber zieht sie in den magnetischen Meridian zurück; unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte nun muß die Nadel irgend eine Zwischenlage annehmen, welche von dem Verhältnisse der beiden Kräfte abhängt.

Das Mikrometer, d. h. die Platte $m\,m'$, sey um 180^0 gedreht und dadurch die Nadel um 20^0 vom magnetischen Meridian abgelenkt worden, so beträgt die Torsion des Fadens $180 - 20 = 160^0$. Wenn V die Drehung des Mikrometers, v die Ablenkung der Nadel ist, so ist die Torsion des Fadens $V - v$.

In Fig. 24 sey $a\,b$ die Richtung des magnetischen Meridians, $c\,d$ die Lage der aus dem magnetischen Meridian abgelenkten Nadel, so ist leicht zu ermitteln, mit welcher Kraft der Erdmagnetismus die Nadel in die Lage des magnetischen Meridians zurückzuführen strebt. Denken wir uns die ganze auf die Nadel wirkende magnetische Kraft in d applicirt. Die Richtung dieser Kraft ist die des magnetischen Meridians, wir können also diese Kraft der Größe und Richtung nach durch eine Linie $d\,n$ darstellen. Diese Kraft läßt sich aber in zwei andere zerlegen, deren eine $d\,g$, in der Richtung der Nadel wirkend, keinen Effect hervorbringen kann, während die andere Composante $d\,h$, welche rechtwinklig auf die Richtung der Nadel angreift, dieselbe zu drehen strebt.

Fig. 24.



Bezeichnet m die totale Kraft $d\,n$, so ist die Composante $d\,h$ gleich $m\,sin.\,v$, und dieser Kraft muß die Torsionskraft des Fadens, welche die Nadel nach der andern Seite zu drehen strebt, das Gleichgewicht halten.

Wenn v klein, d. h. wenn es unter 20^0 ist, so kann man ohne merklichen Fehler den Bogen für den Sinus setzen.

Dividirt man den Torsionswinkel des Fadens $V - v$ durch den Ablenkungswinkel v, so erhält man einen Quotienten $\frac{V-v}{v}$, dessen Werth angiebt, wie viel Grade die Torsion des Fadens betragen müsse, um die Nadel um 1^0 abzulenken. Für den vorhin betrachteten Fall ist $V - v = 160$ und bei $v = 20$, mithin jener Quotient $\frac{160}{20} = 8$, d. h. bei dem magnetischen Zustande der Nadel ist die Torsionskraft des Fadens für eine Drehung von 8^0 gerade hinreichend, um der Kraft das Gleichgewicht zu halten, mit welcher der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt, wenn sie einen Winkel von 1^0 mit diesem Meridian macht.

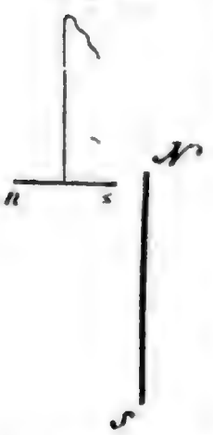
Nehmen wir an, dieselbe Nadel, mit welcher der vorige Versuch angestellt worden war, sey stärker magnetisirt worden, man hätte das Mikrometer um 495^0 drehen müssen, damit die Nadel um 15^0 abgelenkt wird, so wäre die Torsion des Fadens $495 - 15 = 480^0$. Für diesen Fall ist die Torsion des Fadens, welche einer Ablenkung von 1^0 entspricht, $\frac{480}{15} = 32^0$. In dem letztern Falle war also die magnetische Kraft der Nadel 4mal so groß als im erstern.

18 **Die magnetischen Anziehungen und Abstoßungen stehen im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernungen.** Dieses Fundamentalgesetz des Magnetismus war schon früher von einigen Physikern vermuthet worden, allein Coulomb hat die Richtigkeit desselben zuerst mit Hülfe der beiden oben angeführten Methoden nachgewiesen.

1) **Durch Oscillationen.** Eine kleine Magnetnadel wird an einem Coconfaden so aufgehängt, daß sie in horizontaler Ebene frei oscilliren kann, aber vor störenden Luftströmungen hinlänglich geschützt ist. Diese Nadel läßt man zuerst unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus oscilliren. Es sey n die beobachtete Zahl der Schwingungen in einer Minute, m der horizontale Theil der magnetischen Erdkraft, welche auf sie wirkt.

Nun läßt man den einen Pol eines möglichst stark magnetisirten Stahlstabes auf die Nadel wirken. Dieser Stahlstab wird in den magnetischen Meridian der Nadel $n\ s$ gebracht und zwar in vertikaler Stellung, so daß dem Pol s der Nadel derjenige Pol N des Stabes zugekehrt ist, auf welchen er anziehend wirkt.

Fig. 24.



Der Stab $N\ S$ muß so groß seyn, daß die Entfernung $s\ N$ möglichst klein ist im Vergleich zur Entfernung $s\ S$, daß man also die Wirkung des Pols S auf s ohne merklichen Fehler vernachlässigen kann.

Bezeichnen wir mit n' die Zahl der Schwingungen der Nadel für den Fall, daß der Pol N des Stabes $N\ S$ aus einer bestimmten Entfernung auf die Nadel wirkt, und mit f' die Kraft, welche nun die oscillirende Nadel beschleunigt, so hat man im Vergleiche mit dem vorigen Versuche

$$\frac{f'}{f} = \frac{n'^2}{n^2}.$$

Hätte die Nadel unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus 15 Schwingungen in einer Minute gemacht, hingegen 41, wenn der Pol N des Stabes sich 4 Zoll weit von der Nadel befindet, so hätte man

$$\frac{f'}{f} = \frac{41^2}{15^2}.$$

Man bringt nun den Stab in die doppelte Entfernung, ſo daß N 8 Zoll weit von der Nadel iſt, und beobachtet alsdann die Zahl der Oscillationen; geſetzt, man fände ihre Anzahl in einer Minute $n'' = 24$, ſo iſt, wenn man mit f'' die in dieſem Falle auf die Nadel wirkende Kraft bezeichnet,

$$\frac{f''^2}{f^2} = \frac{24^2}{15^2}.$$

Die Größe f' iſt offenbar die Summe der erdmagnetiſchen Kraft und der anziehenden Kraft, welche der Pol N aus einer Entfernung von 4 Zoll auf die Nadel ausübt; letztere iſt alſo offenbar $f' - f$. Ebenſo iſt die anziehende Kraft, welche der Stab aus einer Entfernung von 8 Zoll auf die Nadel ausübt, $f'' - f$. Durch die Combination der beiden letzten Gleichungen ergiebt ſich aber ganz leicht

$$\frac{f' - f}{f'' - f} = \frac{41^2 - 15^2}{24^2 - 15^2} = \frac{1456}{351} = 4{,}1.$$

Dieſer Verſuch zeigt alſo, daß die anziehende Kraft eines magnetiſchen Pols in doppelter Entfernung wirklich nahe 4mal ſchwächer wirkt.

2) **Mit der Drehwage.** Auch für dieſe Verſuche muß man lange magnetiſche Stahlſtäbe oder Drähte anwenden, damit die Wirkung des einen Pols gegen die des andern verſchwindend werden könne. Coulomb's Stäbe waren 24 Zoll lang, hatten ½ bis 1 Linie Durchmeſſer und waren möglichſt ſtark magnetiſch. Ein ſolcher Stab wurde in den Bügeln der Drehwage Fig. 22 gebracht, alſo horizontal aufgehängt; ein vorläufig angeſtellter Verſuch ergab, daß eine Torſion von 35° nöthig war, um den Stab um 1° von dem Meridian abzulenken. Nun wurde ein zweiter Stab von oben in vertikaler Richtung in den Kaſten hineingeſteckt und zwar ſo, daß der nach unten gekehrte Pol den zunächſtliegenden des horizontalen Stabes abſtieß. Der horizontale Magnetſtab kam nun in einer Lage zur Ruhe, welche einen Winkel von 24° mit dem magnetiſchen Meridian machte.

Bei dieſer Lage des hängenden Stabes ſind es zwei Kräfte, welche ihn in den magnetiſchen Meridian zurückzuführen ſtreben, die Erdkraft und eine Torſion des Fadens von 24°. Da aber für jeden Grad Ablenkung die Kraft, welche den Stab in den Meridian zurückzuführen ſtrebt, einer Torſionskraft von 35° gleich iſt, ſo iſt die Compoſante der Erdkraft, welche bei einer Ablenkung von 24° die Nadel zurückzuführen ſtrebt, einer Torſionskraft von 24 . 35 oder 840° gleich, wozu noch die 24°, d. h. die Torſion, welche der Faden wirklich hat, addirt werden müſſen. Die Totalkraft iſt alſo 864°.

Nun wurde das Mikrometer ſo gedreht, daß durch die Torſion des

Fadens die horizontale Nadel dem Stabe näher kam. Die Drehung betrug 3mal 360, also 1080°, und dadurch wurde die Nadel auf 17° dem magnetischen Meridian genähert. Dann wurde das Mikrometer noch um 5mal 360° gedreht, so daß also jetzt die Totalumdrehung 2880° betrug. Dadurch wurde der horizontale Stab dem vertikalen auf 12° genähert.

Für die zweite Stellung war das Aequivalent der Erdkraft eine Torsion von 17.35 = 595 Graden. Addirt man dazu die wirkliche Torsion des Fadens 1080 + 17 = 1097°, so erhält man eine Torsionskraft von 1698° als Maaß für die abstoßende Kraft, welche der untere Pol des eingeschobenen Magneten ausübt.

Auf dieselbe Weise findet man für die dritte Lage die abstoßende Kraft gleich der Torsionskraft von 3312°.

Die Entfernungen in diesen Versuchen verhalten sich also wie 24:17:12, die entsprechenden abstoßenden Kräfte aber wie 264:1698:3312, welche letzteren Zahlen sich zu einander sehr nahe umgekehrt verhalten wie die Quadrate der ersteren.

Das eben bewiesene Gesetz bezieht sich streng genommen nur auf die Anziehung und Abstoßung der magnetischen Elemente. Die Gesammtwirkung eines magnetischen Körpers verhält sich aber ganz anders. Die eben angeführten Versuche stellten auch nur deshalb das Gesetz wenigstens annäherungsweise heraus, weil die Anordnung so getroffen war, daß der eine Pol des zu prüfenden Magneten in so großer Entfernung war, daß er die Wirkung des anderen nicht wesentlich modificiren konnte. Ist jedoch diese Bedingung nicht erfüllt, so stellen sich ganz andere Resultate heraus, und wenn die Entfernungen groß genug sind gegen die Dimensionen des Magneten, so verhalten sich die Totalwirkungen desselben sehr nahe umgekehrt wie die dritten Potenzen der Entfernungen.

Dieses Gesetz der Totalwirkung eines Magneten ergiebt sich als nothwendige Folge daraus, daß die Wirkung der magnetischen Elemente auf einander im Verhältniß des Quadrats der Entfernung abnimmt. Gauß nimmt ganz allgemein an, daß die Wirkung der Elemente auf einander sich umgekehrt verhalte wie die *n*te Potenz der Entfernungen, und beweis't nachher durch Versuche, die auf ganz anderen Principien beruhen als die Coulomb'schen, daß *n* gleich 2 sey.

Die Wirkung eines Magneten auf einen andern wird sehr durch die gegenseitige Lage beider modificirt. Gauß hat diese Frage ebenfalls ganz allgemein behandelt, wir wollen jedoch nur zwei besondere Lagen ins Auge fassen, nämlich diejenigen, welche für die Versuche die geeignetsten sind.

Betrachten wir nun zuerst den Fall, daß die bewegliche Nadel, auf welche ein fester Magnetstab wirkt, in einer Ebene liegt, welche auf der Richtung dieses festen Magneten rechtwinklig steht und durch seine Mitte

geht. Dies ist bei der Fig. 25 dargestellten gegenseitigen Lage des festen Magnetstabes $N\,S$ und der beweglichen Nadel $n\,s$ der Fall. Denken wir

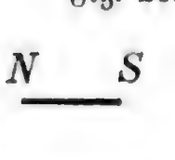
Fig. 25.

uns die magnetische Wirkung der Erde als von einem großen Magneten ausgehend, welcher gerade unter der Nadel liegt, so gehört die gegenseitige Lage der Nadel und des Erdmagneten auch diesem ersten Falle an, und die Wirkung des Erdmagnetismus auf die Nadel kann also auch mit der Wirkung des Magneten $N\,S$ (Fig. 25) auf die Nadel $n\,s$ verglichen werden. Wir werden später von dieser Vergleichung Gebrauch machen.

In diesem Falle wirkt der Magnetstab $N\,S$ in der Weise auf die Nadel $n\,s$, daß sie sich, wenn keine anderen Kräfte wirkten, parallel mit $N\,S$ stellen würde. So stellt sich ja auch die Magnetnadel parallel mit dem Erdmagneten.

Dann gehen wir zur Betrachtung des zweiten, Fig. 26 dargestellten,

Fig. 26.



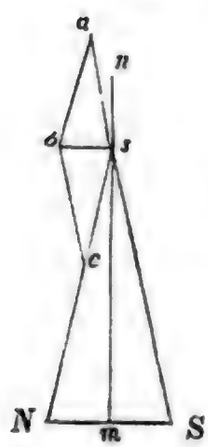
Falles über. Hier liegt die Mitte des beweglichen Magneten $n\,s$ in der Verlängerung des Stabes $N\,S$. In diesem Falle würde sich die Nadel $n\,s$ ohne Mitwirkung fremder Kräfte in die Verlängerung von $N\,S$ stellen.

Wir wollen nun untersuchen, mit welcher Kraft der Stab $N\,S$ die Nadel $n\,s$ in beiden Fällen zu drehen strebt, wenn die Nadel rechtwinklig auf der durch den Stab bedingten Gleichgewichtslage, also so steht, wie es die Figuren 25 und 26 darstellen.

Erster Fall. Der Pol S, Fig. 27, stößt den Pol s ab, und zwar in der Richtung $s\,a$. Bezeichnen wir mit q die abstoßende Kraft, welche diese beiden Pole in der Entfernung 1 auf einander ausüben, so ist $\frac{q}{r^n}$ die abstoßende Kraft, welche sie wirklich auf einander ausüben, wenn ihre Entfernung mit r bezeichnet wird. Hier ist der Werth von n noch unbestimmt gelassen.

Bezeichnen wir die Entfernung $s\,m$ mit r, so können wir ohne merklichen Fehler auch $s\,S$ gleich r setzen, wenn $m\,S$ sehr klein ist im Vergleich zu $m\,s$.

Fig. 27.



Die Kraft $\frac{q}{r^n}$, mit welcher der Pol S den Pol s abstößt, kann durch die Linie $s\,a$ dargestellt werden.

Der Pol N wirkt anziehend auf s, und zwar zieht er ebenso stark an, wie S abstößt, weil S und N gleichweit von s entfernt sind; die anziehende Kraft kann also durch die Linie $s\,c$ dargestellt werden. Nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte ergiebt sich $s\,b$ als Resultirende der beiden Kräfte $s\,a$ und $s\,c$. Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke NSs und $b\,s\,a$ ergiebt sich die Proportion

$$Ss : SN = as : bs.$$

Da nun $Ss = r$, $sa = \frac{q}{r^n}$ iſt, ſo geht jene Proportion über in

$$r : 2a = \frac{q}{r^n} : f,$$

wenn wir mit f den Werth der Reſultirenden $b\,s$, d. h. die Totalwirkung des Magneten SN auf den Pol s, und mit a die halbe Länge des Magneten bezeichnen; daraus ergiebt ſich

$$f = \frac{2aq}{r^{n+1}}.$$

Der Werth f, d. h. die Totalwirkung des Magneten $N\,S$ auf den andern ſteht alſo im umgekehrten Verhältniſſe der $(n+1)$ten Potenz von r, und da für den Fall der Wirklichkeit $n = 2$ iſt, ſo ergiebt ſich alſo, daß die Totalwirkung des Magneten NS in demſelben Verhältniſſe abnimmt, in welchem die 3te Potenz der Entfernung wächſt.

Zweiter Fall. Wenn q die Kraft iſt, mit welcher der Pol N den Pol s aus der Entfernung 1 anzieht, ſo iſt ſeine anziehende Kraft für die Entfernung Ns

Fig. 28.

gleich $\frac{q}{(r-a)^n}$, wenn mit r die Entfernung $m\,s$ und mit a die halbe Länge des Magneten $N\,S$ bezeichnet wird; die abſtoßende Kraft aber, mit welcher S auf s wirkt, iſt demnach gleich $\frac{q}{(r+a)^n}$. Wenn $n\,s$ klein iſt im Vergleich zu der Entfernung des andern Magneten, ſo kann man ohne merklichen Fehler die Richtung der beiden auf s wirkenden Kräfte als gleich und rechtwinklig auf $n\,s$ annehmen. Demnach iſt die Totalkraft, mit welcher der Magnet $N\,S$ auf s wirkt,

$$F = \frac{q}{(r-a)^n} - \frac{q}{(r+a)^n} = q\,(r-a)^{-n} - q\,(r+a)^{-n} =$$
$$q\,[(r-a)^{-n} - (r+a)^{-n}].$$

Wenn man $(r-a)^{-n}$ nach dem binomiſchen Lehrſatze in einer Reihe entwickelt, ſo kommt

$$r^{-n} + n\,r^{-(n+1)}\,a + etc.$$

Der Ausdruck $(r+a)^{-n}$ giebt eine ganz ähnliche Reihe, welche ſich von dieſer nur dadurch unterſcheidet, daß alle Glieder, welche mit ungeraden Potenzen von a behaftet ſind, das entgegengeſetzte Zeichen haben, wenn man alſo die Reihe für $(r+a)^{-n}$ abzieht von der Reihe für $(r-a)^{-n}$, ſo fällt r^n weg und ebenſo alle Glieder, welche mit geraden Potenzen von a behaftet ſind, während ſich die anderen ſummiren, man erhält auf dieſe Weiſe

$$F = 2\,naqr^{-(n+1)} + etc. = \frac{2naq}{r^{n+1}} + etc.$$

Wenn man alle folgenden Glieder der Reihe gegen das erſte vernachläſſigt, ſo hat man alſo

$$F = \frac{2anq}{r^{n+1}}.$$

Vergleichen wir dieſen Werth F mit dem für die erſte Lage gefundenen Werth von f, ſo ergiebt ſich

$$F = nf.$$

Alle vernachläſſigten Glieder haben zum Nenner eine Potenz von r, welche höher iſt als die $(n+1)$te; wie wir aber geſehen haben, müſſen die Glieder ausfallen, deren Nenner r^{n+2}, r^{n+4}, r^{n+6} u. ſ. w. iſt, das nächſte Glied der vernachläſſigten Reihe hat alſo r^{n+3} zum Nenner.

Gehen wir nun zu den Verſuchen über, welche Gauß anſtellte, um den Werth von n zu ermitteln.

Für den Magneten ns wurde der Magnetometerſtab angewandt, den wir ſchon oben (Seite 20) kennen gelernt haben. Südlich von demſelben wurde ein anderer ähnlicher Magnetſtab ſo gelegt wie NS, Fig. 25, daß er alſo rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridian ſtand. Die Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Magnete fiel mit dem magnetiſchen Meridian zuſammen. Durch die Einwirkung des Stabes NS wurde das Magnetometer abgelenkt, und da der Ablenkungswinkel klein iſt, ſo kann man recht gut die Größe dieſes Winkels für ein Maaß der Kraft nehmen, mit welcher der Magnet NS das Magnetometer zu drehen ſtrebt. Bezeichnen wir den Ablenkungswinkel mit v. Der einer beſtimmten Entfernung beider Stäbe entſprechende Werth von v wurde jedoch nicht durch einen Verſuch, ſondern als Mittel aus 4 Verſuchen beſtimmt.

Bei der Fig. 25 dargeſtellten Lage wird der Pol s nach der linken Seite hin abgelenkt werden. Kehrt man aber den Magneten NS ſo um, daß N dahin zu liegen kommt, wo jetzt S iſt, und S dahin, wo jetzt N iſt, ſo wird eine ebenſo große Ablenkung nach der rechten Seite erfolgen.

Nachdem die Ablenkungen für die beiden eben erwähnten Lagen ermittelt waren, wurde der Magnetſtab in der nämlichen Weiſe in gleicher Entfernung nördlich vom Magnetometer placirt, und zwar einmal ſo, daß der Pol N öſtlich, und dann ſo, daß derſelbe Pol weſtlich lag; dadurch wurde das Magnetometer wieder einmal öſtlich und einmal weſtlich abgelenkt. Den Werth von v mit möglichſter Genauigkeit zu beſtimmen, wurde das Mittel aus dieſen 4 Beobachtungen genommen.

Es wurde nun eine Reihe ſolcher Verſuche für verſchiedene Entfernungen angeſtellt, die folgende Tabelle enthält die Reſultate derſelben. In der erſten Columne unter r iſt immer die Entfernung der Aufhängungsaxe des Magnetometers von dem Mittelpunkte des Stabes NS in Metern angegeben, die zweite Columne unter v enthält die entſprechenden Ablenkungen.

r	v	v'
1,1 m	1° 57′ 24,8″	
1,2	1 29 40,5	
1,3	1 10 19,3	2° 13′ 51,2″
1,4	0 55 58,9	1 47 28,6
1,5	0 45 14,3	1 27 19,1
1,6	0 37 12,2	1 12 7,6
1,7	0 30 57,9	1 0 9,9
1,8	0 25 59,5	0 50 52,5
1,9	0 22 9,2	0 43 21,8
2,0	0 19 1,6	0 37 16,2
2,1	0 16 24,7	0 32 4,6
2,5	0 9 36,1	0 18 51,9
3,0	0 5 33,7	0 11 0,7
3,5	0 3 28,9	0 6 56,9
4,0	0 2 22,2	0 4 35,9

Eine zweite Versuchsreihe wurde gemacht, indem man den ablenkenden Stab in die Lage NS, Fig. 26, gegen die Magnetometernadel brachte. Auch bei dieser Versuchsreihe wurde der jeder Entfernung entsprechende Ablenkungswinkel nicht aus einem, sondern als Mittel aus 4 Versuchen bestimmt. Bei der Lage, wie sie Fig. 26 dargestellt ist, erhielt man eine westliche Ablenkung; dann wurde der Magnet so umgekehrt, daß N an die Stelle von S und S an die Stelle von N kam; dadurch erhielt man eine entsprechende östliche Ablenkung. Nun wurde der Magnet ebenso weit ostwärts vom Magnetometer placirt, und zwar wurde einmal N nach Osten, einmal nach Westen gekehrt, und so erhielt man abermals eine östliche und eine westliche Ablenkung. Aus den 4 so beobachteten Ablenkungen wurde das Mittel genommen. Die eben angeführte Tabelle enthält in der dritten Columne unter v' die Mittelwerthe der Ablenkungen, wie sie bei dieser Versuchsweise für die verschiedenen Entfernungen gefunden wurden.

Schon ein flüchtiger Ueberblick dieser Tabelle zeigt, daß für die größeren Entfernungen die Zahlen der zweiten Columne sich unter einander wirklich sehr nahe umgekehrt verhalten wie die dritten Potenzen der entsprechenden Werthe von r. Dasselbe ergiebt sich auch, wenn man die Zahlen der dritten Columne mit denen der ersten vergleicht. Wir sehen daraus, daß in den oben entwickelten Gleichungen

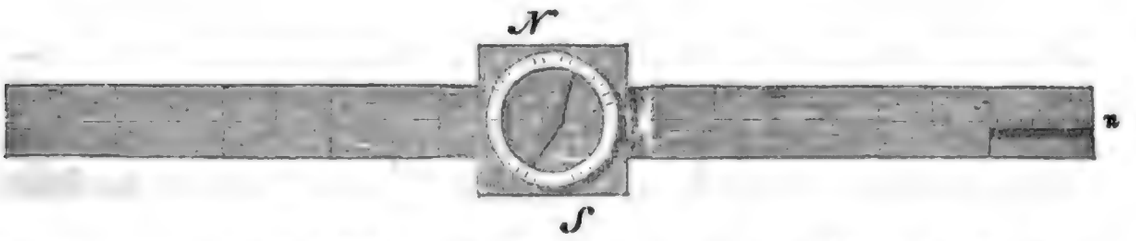
$$f = \frac{2aq}{r^{n+1}} \text{ und } F = \frac{2anq}{r^{n+1}}.$$

der Werth des Exponenten $n+1$ gleich 3 seyn muß, woraus $n=2$ folgt.

Nach unserm oben durchgeführten Raisonnement ist $F=nf$, und da wir $n=2$ gefunden haben, so folgt, daß, wenn unsere Schlüsse richtig sind, die Zahlen der dritten Columne doppelt so groß seyn müssen als die daneben stehenden der zweiten, was in der That sehr nahe der Fall ist, so daß über die Richtigkeit des Werthes $n=2$ kein Zweifel übrig bleiben kann.

Die Versuche über die Totalwirkung der Magnete lassen sich auch ohne

Fig. 29.



Magnetometer nach W. Weber's Angaben mit einer gewöhnlichen Boussole,

Fig. 30.

die nur in ganze Grade getheilt ist, anstellen, da man noch 10tel Grade schätzen kann. Die Boussole wird auf die Mitte eines etwas breiten Maaßstabes gesetzt, der nur in Decimeter getheilt zu seyn braucht. Will man die Vorrichtung zu Intensitätsbestimmungen auf Reisen anwenden, wozu ihn eigentlich Weber eingerichtet hat, so reicht es hin, wenn der Maaßstab 1 Meter lang ist, sonst ist es gut, ihn 1,4 bis 1,6 Meter lang zu nehmen. Bei einer Versuchsreihe wird der Maaßstab rechtwinklig auf den magnetischen Meridian gelegt, wie Fig. 29 zeigt. Der Magnetstab $n\,s$, den man zu den Ablenkungsversuchen anwendet, ist am besten genau 1 Decimeter lang. Wie ihn die Fig. 29 zeigt, ist die Entfernung seiner Mitte vom Mittelpunkte der Nadel 450^{mm}; außerdem beobachtete Weber noch die Ablenkung für die Entfernungen 350^{mm} und 300^{mm}. Es versteht sich von selbst, daß für jede Entfernung auf die schon angegebene Weise 4 Versuche gemacht und aus deren Ergebniß das Mittel genommen wurde.

Für die zweite Versuchsreihe legt man den Maaßstab in die Richtung des magnetischen Meridians und den ablenkenden Magneten rechtwinklig auf denselben. Wiederholt man nun die Versuche, so wird man finden, daß die Ablenkungen jetzt sehr nahe halb so groß sind, als man in der ersten Versuchsreihe für dieselbe Entfernung gefunden hatte.

Der Vollständigkeit wegen ist es sehr zu empfehlen, die Versuche auch noch auf größere Entfernungen auszudehnen.

Zum Behufe magnetischer Intensitätsbestimmungen hat

Weber die Ablenkungen für die in Fig. 29 dargeſtellte Anordnung und die Entfernungen 450, 350 und 300 Millimeter beſtimmt. Die Verſuche gaben die in folgender Tabelle zuſammengeſtellten Reſultate.

r	v
450	11° 24′ 0″
350	23° 28′ 50″
300	35° 17′ 25″

Die unter v ſtehenden Ablenkungen ſind das Mittel aus 4 Verſuchen.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß die Größe der Ablenkung von der Individualität des Ablenkungsmagneten abhängt. Wäre der Magnet $n\ s$ ſchwächer magnetiſirt geweſen, ſo wären die Ablenkungen geringer ausgefallen.

Dieſe Reſultate beſtätigen nun vollkommen unſere oben gemachten Schlüſſe über die Totalwirkung von Magneten. Nach den auf S. 36 gemachten Entwickelungen hat der Werth für die Totalwirkung eines Magneten die Form

$$f = \frac{x}{r^3} + \frac{y}{r^5}.$$

Bei den Gauß'ſchen Verſuchen war die Ablenkung ſo klein, daß man ohne merklichen Fehler den Ablenkungswinkel für das Maaß der ablenkenden Kraft nehmen kann, bei unſeren Verſuchen aber iſt der Ablenkungswinkel ſo groß, daß man dieſe Annahme nicht mehr machen darf. Wie wir früher geſehen haben, iſt die Kraft, womit der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetiſchen Meridian zurückzudrehen ſtrebt, $c.\ sin.\ v$; durch ein ganz ähnliches Raiſonnement ergiebt ſich aber auch, daß, wenn f das Drehungsmoment iſt, mit welchem der Ablenkungsſtab auf die Nadel wirkt, wenn ſie im magnetiſchen Meridian ſteht, daß alsdann $f.\ cos.\ v$ das vom Stabe her auf die Nadel wirkende Drehungsmoment ſey, wenn die Nadel einen Winkel v mit dem magnetiſchen Meridian macht. Für den Fall des Gleichgewichts aber iſt

$$c.\ sin.\ v = f.\ cos.\ v$$

und daraus

$$\frac{f}{c} = tang.\ v$$

$$f = c.\ tang.\ v,$$

woraus man erſieht, daß die ablenkende Kraft des Magneten nicht dem Ablenkungswinkel, ſondern der Tangente des Ablenkungswinkels proportional iſt, wir können alſo die Tangente des Ablenkungswinkels als Maaß für die Kraft des ablenkenden Magneten anſehen, für die Tangente des

Ablenkungswinkel gilt alſo auch Alles, was von der ablenkenden Kraft ſelbſt geſagt wurde, und wir haben alſo

$$tang.\ v = \frac{x}{r^3} + \frac{y}{r^5}.$$

Je mehr nun r wächſt, deſto mehr nähert ſich der Werth von *tang. v* dem Werth $\frac{x}{r^3}$. Multiplicirt man auf beiden Seiten mit r^3, ſo kommt.

$$r^3\ tang.\ v = x + \frac{y}{r^2}.$$

Aus dieſer Gleichung ſieht man, daß, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit der dritten Potenz der Entfernung multiplicirt, ein Produkt herauskommen müſſe, welches ſich um ſo mehr einem Gränzwerthe x nähert, je größer r wird, d. h. für ſehr große Werthe von r iſt das Produkt $r^3\ tang.\ v$ ſtets gleich, wie ſich der Werth von r auch ändern mag. Je kleiner aber r wird, deſto mehr Einfluß bekommt das Glied $\frac{y}{r^2}$, für kleinere Werthe von r wird alſo auch der Werth des Produktes r^2 *tang. v* den Gränzwerth x um ſo mehr übertreffen, je kleiner r iſt.

Bei den eben angeführten Weber'ſchen Verſuchen iſt nun r ſo klein, daß es noch einen ſehr merklichen Einfluß auf das Produkt r^3 *tang. v.* ausübt. Aus den angeführten Weber'ſchen Verſuchen berechnet man folgende Werthe von r^3 *tang. v.*

18374000	für die Entfernung		450^{mm}
18625000	»	»	350
19110000	»	»	300.

Wir ſehen alſo, daß für kleinere r jenes Produkt immer größer wird.

Für die folgenden Beſtimmungen der Intenſität des Erdmagnetismus iſt es von der größten Wichtigkeit, den Gränzwerth zu ermitteln, dem ſich das Produkt r^3 *tang. v* immer mehr nähert, je größer r wird.

Für die Entfernung 450^{mm} iſt der Werth von *tang. v* gleich 0,20163, wenn wir alſo die beiden erſten Glieder im Werthe von *tang. v* berückſichtigen, ſo hat man die Gleichung

$$0{,}20163 = \frac{x}{450^3} + \frac{y}{450^5} \qquad 1)$$

für die Entfernung 300^{mm} iſt der Werth von *tang. v* gleich 0,70779, es iſt alſo

$$0{,}70779 = \frac{x}{300^3} + \frac{y}{300^5} \qquad 2)$$

Aus dieſen beiden Gleichungen läßt ſich nun der Werth von x beſtimmen, man findet

$$x = 17784000.$$

Dies würde genau der Gränzwerth seyn, dem sich das Produkt $r^3 \, tang. \, v$ um so mehr nähert, je größer r wird, wenn die Versuche ganz frei von Beobachtungsfehlern wären. In diesem Falle müßte man auch genau denselben Werth von x finden, wenn man den ersten und zweiten Versuch in der Weise verbindet, wie wir es eben für den ersten und dritten gethan haben. Für die Entfernung 350 ist der Werth von *tang. v* gleich 0,4344, dies giebt die Gleichung

$$0{,}4344 = \frac{x}{350^3} = \frac{y}{350^5}.$$

Combinirt man diese Gleichung mit der Gleichung 1), so kommt

$$x = 17990000.$$

Combinirt man auf dieselbe Weise den zweiten und dritten Versuch, so kommt

$$x = 17310000.$$

Den wahrscheinlichsten Werth von x erhält man, wenn man aus jenen drei Werthen das Mittel nimmt, man findet auf diese Weise

$$x = 17667000.$$

Weber hat nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf eine genauere Weise diesen Werth berechnet und 17530000 gefunden, was mit unserm Resultate nahe zusammenfällt.

19 Nachdem wir die Gesetze, welchen die Wirkung der Magnete in die Ferne folgt, kennen gelernt haben, können wir auch zu den Gauß'schen Untersuchungen über die Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus zurückkehren.

Die Gesammtkraft, welche auf eine in horizontaler Ebene schwingende Magnetnadel wirkt, läßt sich aus den beobachteten Schwingungszeiten nach den Gesetzen der Pendelbewegung berechnen. Wie wir im ersten Bande gesehen haben, ist für ein einfaches Pendel

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

wo die Buchstaben t, π, l und g die dort angegebene Bedeutung haben.

Wenn man mit einem physischen, also zusammengesetzten Pendel zu thun hat, so muß für l die Länge des einfachen Pendels gesetzt werden, welches mit dem fraglichen physischen gleiche Schwingungsdauer hat. Wie oben gezeigt wurde, findet man aber diese Länge, d. h. die Entfernung des Aufhängepunktes vom Schwingungspunkte des physischen Pendels, wenn man die Summe der Trägheitsmomente aller materiellen Punkte durch die Summe der statischen Momente der Kräfte dividirt, welche auf die ein-

zelnen Punkte wirken. Bezeichnen wir die Summe der Trägheitsmomente mit K, die jener statischen Momente mit C, so ist

$$t = \pi \sqrt{\frac{K}{Cg}}.$$

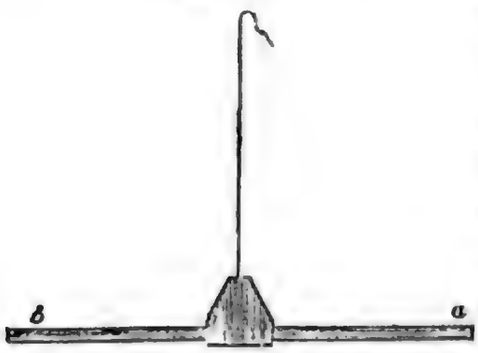
Um die Sache recht anschaulich zu machen, wollen wir die Bedeutung der Buchstaben K und C noch von einer andern Seite betrachten. Die Summe K der Trägheitsmomente der einzelnen materiellen Theilchen, das Trägheitsmoment des Körpers, ist in der That nichts anders als die träge Masse, die in der Entfernung 1 vom Drehpunkte concentrirt seyn müßte, um der Gesammtheit der beschleunigenden Kräfte, welche die Oscillationen bewirken, denselben Widerstand entgegenzusetzen, wie es die träge Masse des Körpers wirklich thut. Die Summe C der statischen Momente ist aber ebenso die Kraft, die in der Entfernung 1 vom Drehpunkte angreifen müßte, um denselben Effect hervorzubringen, wie die Gesammtheit aller Kräfte, die in verschiedenen Entfernungen vom Drehpunkte angreifen.

Wenden wir nun unsere Formel auf einen Magnetstab an, welcher in horizontaler Ebene um eine vertikale Axe unter dem Einflusse des Erdmagnetismus oscillirt. Hier ergiebt sich t aus der Beobachtung, K läßt sich nach Principien der Mechanik berechnen, wenn der Stab eine einfache reguläre Gestalt hat; man kann demnach C nach jener Formel bestimmen, man findet

$$C = \frac{\pi^2 K}{g \,.\, t^2}.$$

Gauß wandte zu den Schwingungsversuchen, die er zur Bestimmung der erdmagnetischen Kraft anstellte, das schon beschriebene Magnetometer an, bei welchem Apparate der Magnetstab in einem messingenen Schiffchen liegt, welches mitschwingt. Dadurch ist nun eine genaue Berechnung des Trägheitsmomentes K unmöglich, und es ist deshalb nöthig, diese Größe durch den Versuch auszumitteln, wofür Gauß ein äußerst sinnreiches Verfahren angegeben hat, dessen Auseinandersetzung uns hier zu weit führen würde.

Fig. 31.



W. Weber hat einen ganz einfachen Apparat angegeben, um nach der Gauß'schen Methode die Intensität der erdmagnetischen Kraft zu bestimmen, der besonders Reisenden und solchen zu empfehlen ist, die ein Magnetometer mit allem Zubehör nicht anschaffen und aufstellen können. Der Magnetstab, den Weber anwendet, ist ein möglichst genau gearbeitetes Parallelopiped, welches man, wie Fig. 31 zeigt, in eine kleine Hülse von Papier legen kann, wenn man die Schwin-

gungsversuche machen will. Da die Papierhülse so außerordentlich leicht ist, so wird durch sie das berechnete Trägheitsmoment nicht merklich verändert.

Der Magnetstab, wie ihn Weber anwandte, war 101^{mm} lang, 17,5^{mm} breit und wog 142 Gramm (es ist bequem, wenn er genau 100^{mm} lang ist). Wie uns die Mechanik lehrt, findet man das Trägheitsmoment eines 4seitigen Prismas in Beziehung auf eine feste Axe, welche durch den Schwerpunkt des Prismas geht und der einen Kante parallel ist, nach der Formel $K = \frac{a^2 + b^2}{12} p$, wo a und b die Längen derjenigen Kanten bezeichnen, welche nicht mit der Umdrehungsaxe parallel sind; p ist das Gewicht des Stabes. Für Weber's Magnet war $a = 101^{mm}$, $b = 17{,}5^{mm}$, $p = 142^{gr}$, es ist demnach

$$K = \frac{101^2 + 17{,}5^2}{12} 142000 = 124335791{,}66,$$

wenn man das Milligramm zur Gewichtseinheit nimmt. Der fragliche Magnetstab setzt also einer jeden beschleunigenden Kraft, die ihn um seine vertikale Axe zu drehen strebt, einen ebenso großen Widerstand entgegen, wie eine träge Masse von 124335791,66 Milligrammen in der Entfernung 1^{mm} von der Drehaxe.

Die Dauer einer Oscillation, also t, war für diesen Stab 6,67 Sekunden, es ergiebt sich demnach

$$C = \frac{124335791{,}66 \,.\, \pi^2}{g \,.\, 6{,}67^2} = 2812,$$

wenn man für π^2 seinen Werth 9,8696 und für g seinen Werth 9808,8 (Millimeter) setzt.

Die Zahl 2812 drückt die Menge der Milligramme aus, deren Druck unter der Wirkung der Schwere auf einen 1^{mm} langen Hebel gleich ist der Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus die Axe um ihre vertikale Axe zu drehen strebt, wenn der Stab rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht.

Auf diese Weise ist schon die magnetische Kraft, welche den Stab beschleunigt, auf ein absolutes Maaß zurückgeführt. Damit ist aber der Zweck noch nicht erreicht, man hat noch keinen Werth für die magnetische Erdkraft, denn das Drehungsmoment $C = 2812$ ist noch von der Natur der Nadel abhängig. Wäre der Magnetismus des Stabes stärker oder schwächer entwickelt gewesen, so würde der Werth von C größer oder kleiner geworden seyn; außerdem ist aber auch C der magnetischen Erdkraft proportional, es ist also

$$C = TM,$$

wenn T die magnetische Erdkraft und M den Stabmagnetismus bezeichnet, es ist also für unser Beispiel

$$T \,.\, M = 2812.$$

Wenn es nun gelingt, noch eine andere Relation zwischen den Größen T und M zu finden, wonach man eine zweite Gleichung zwischen T und M bilden kann, so läßt sich M, also gewissermaßen die magnetische Individualität der Nadel eliminiren und ein absoluter Werth für T finden.

Aus den oben angeführten Versuchen über die Wirkung eines Magneten auf eine in horizontaler Ebene frei drehbare Nadel ergiebt sich aber ein Verhältniß zwischen der Kraft des Erdmagnetismus und der Kraft des ablenkenden Magneten, und dies führt uns zur Bestimmung eines numerischen Werthes für den Quotienten $\frac{M}{T}$.

Wir haben gesehen, daß, wenn ein Magnetstab in die Lage gegen eine bewegliche Nadel gebracht wird, wie sie Fig. 30 dargestellt ist, alsdann eine Ablenkung der Nadel erfolgt und daß

$$\frac{f}{c} = tang.\ v,$$

wenn f, c und v die dort angegebene Bedeutung haben. Das Drehungsmoment c hat für die Nadel der Boussole ganz dieselbe Bedeutung, wie C für den Magnetstab, mit welchem die Schwingungsversuche angestellt wurden, es ist also auch

$$c = m\,T,$$

wo T dieselbe Bedeutung hat wie oben, und m für die Nadel dasselbe bezeichnet, was M für den Stab ist. Wir haben demnach

$$\frac{f}{m\,T} = tang.\ v.$$

Das Drehungsmoment f, mit welchem der Magnetstab $n\ s$ die Nadel zu drehen strebt, ist abhängig von der Stärke des Magnetismus der Nadel, von der Stärke des Magnetismus des Stabes und von der Entfernung beider. Wir haben gesehen, daß, wenn die Entfernung einigermaßen groß ist, das Produkt $f\,r^3$ eine constante Größe ist. Dieses Produkt bezeichnet aber nichts anderes als das Drehungsmoment, welches der Stab auf die Nadel ausüben würde, wenn er sich in der Entfernung 1 von ihm befände und seine Wirkung bei dieser Annäherung wirklich in dem Verhältnisse zugenommen hätte, in welchem der Cubus der Entfernung abnahm. Dies Verhältniß zwischen der Wirkung und Entfernung findet nun für kleine Entfernungen in der That nicht mehr Statt, das hindert aber nicht, das auf die Einheit der Entfernung reducirte Drehungsmoment $f r^3$ für ein Maaß des Magnetismus des Stabes zu benutzen, da man ja für $f r^3$ einen constanten von der Entfernung r ganz unabhängigen Werth hat.

Das reducirte Moment fr^3 iſt aber noch abhängig vom Magnetismus des Stabes und dem der Nadel, es iſt alſo gleich einem Produkte $m\,M$, und es bleibt nur noch zu beſtimmen, welches die Einheit ſeyn ſoll, in welcher m und M auszudrücken ſind.

Nehmen wir an, der ablenkende Stab und die Nadel der Bouſſole ſeyen vollkommen gleich und auch gleich ſtark magnetiſch; ferner ſey dieſer Magnetismus gerade ſo ſtark, daß das reducirte Drehungsmoment fr^3 gleich iſt dem Drucke von 1 Milligramm, welches 1 Millimeter weit vom Drehpunkte der beweglichen Nadel angreift. Die Stärke des Magnetismus nun, welche in dieſem Falle in jedem der beiden Magnete entwickelt iſt, wollen wir zur Einheit des Magnetismus nehmen. Wäre der Magnetismus des Stabes Mmal und der der Nadel $m$mal ſo groß, ſo würde offenbar das reducirte Drehungsmoment, welches bei der bisher betrachteten gegenſeitigen Lage der Stab auf die Nadel ausübt, $M\,m$ ſeyn.

In derſelben Einheit iſt nun auch die Stärke des Erdmagnetismus, T, auszudrücken. T in Zahlen ausgedrückt, giebt an, wie viel Milligramme an einem Hebelarme von 1 Millimeter angreifend dem Drehungsmomente das Gleichgewicht halten würden, mit welchem der Erdmagnetismus eine rechtwinklig auf dem Meridiane ſtehende Nadel zu drehen ſtrebt, in welcher die Einheit des Magnetismus entwickelt iſt.

Kehren wir jedoch zu unſeren Rechnungen zurück. Es iſt

$$\frac{f}{m\,T} = tang.\ v,$$

folglich auch

$$\frac{fr^3}{m\,T} = r^3\ tang.\ v.$$

Ferner aber iſt $fr^3 = M\,m$, mithin auch

$$\frac{m\,M}{m\,T} = r^3\ tang.\ v,$$

und daraus

$$\frac{M}{T} = r^3\ tang.\ v.$$

Nun aber hat, wie wir geſehen haben, das Produkt $r^3\ tang.\ v$ einen conſtanten Werth, wenn nur r groß genug iſt; und ſelbſt wenn man die Verſuche für kleinere Entfernungen gemacht hat, läßt ſich der Gränzwerth berechnen, dem ſich das Produkt $r^3\ tang.\ v$ um ſo mehr nähert, je größer r wird.

Für die oben Seite 42 angeſtellte Verſuchsreihe ergab ſich für $r^3\ tang.\ v$ der Gränzwerth 17667000. Die dort angeführten Verſuche waren aber bei einer andern gegenſeitigen Lage des Stabes $n\ s$ und der Nadel angeſtellt worden, und zwar in einer Lage, bei welcher die Ablenkung der Nadel immer

doppelt so groß ist, als sie in der Lage Fig. 30 gewesen seyn würde, welche wir bei unserer letzten Betrachtung zu Grunde legen müssen. Wir können jedoch das dort gefundene Resultat für unsern Zweck sehr gut gebrauchen, wir haben den für jene Lage erhaltenen Gränzwerth nur mit 2 zu dividiren, um den Gränzwerth für unsere Lage zu erhalten. Wir haben demnach

$$\frac{M}{T} = 8833500.$$

Da nun

$$M\,T = 2812,$$

so kommt

$$T = \sqrt{\frac{2812}{8833500}} = 0{,}017842.$$

Es ist nicht nöthig, erst den numerischen Werth von $M\,T$ und $\frac{M}{T}$ zu berechnen, es läßt sich auch eine Formel für T bestimmen, mit Hülfe deren man für jeden besondern Fall gleich den Werth von T finden kann. Es ist

$$M\,T = \frac{\Pi^2 K}{g\,t^2}$$

und

$$\frac{M}{T} = r^3\ tang.\ v.$$

Aus der ersten dieser Gleichungen folgt

$$T = \frac{\Pi^2 K}{g\,t^2 M}$$

aus der zweiten

$$T = \frac{M}{r^3\ tang.\ v.}$$

Multiplicirt man diese beiden Werthe von T mit einander, so kommt

$$T^2 = \frac{\Pi^2 K}{g\,t^2 r^3\,tang.\,v.}$$

und

$$T = \frac{\Pi}{t}\sqrt{\frac{K}{g.r^3\,tang.\,v.}}$$

Bei unseren bisherigen Berechnungen haben wir als Einheit der Kraft den Druck angenommen, den eine Masse von 1 Milligramm unter dem Einflusse der Schwere hervorbringt. Dieser Druck selbst ist aber nicht für alle Punkte der Erde derselbe, weil die Intensität der Schwerkraft nicht überall dieselbe ist. In unseren Formeln ist also die Einheit der Kraft selbst eine veränderliche Größe, die man durch eine unveränderliche messen

muß, um die magnetiſche Intenſität auf ein abſolutes Maaß zurückzuführen.

Bekanntlich iſt g die Endgeſchwindigkeit eines frei fallenden Körpers am Ende der erſten Sekunde, oder was daſſelbe iſt, der doppelte Fallraum der erſten Sekunde. Nehmen wir nun als Einheit der Kraft diejenige an, unter deren Einfluß der doppelte Fallraum der erſten Sekunde nicht g, ſondern die Längeneinheit wäre, ſo würde, wenn dieſe Kraft ſtatt der Schwere wirkte, die Maſſe eines Milligramms einen $g$mal geringern Druck ausüben; um alſo mit dieſer Kraft denſelben hervorzubringen wie C Milligramme unter der Wirkung der Schwere, müßte man eine Maſſe von Cg Milligrammen anwenden. Wenn man alſo dieſe Einheit der Kraft zu Grunde legen will, hat man den Werth von C, oder was daſſelbe iſt, den Werth von MT, wie er in den obigen Rechnungen eingeführt wurde, mit g zu multipliciren, d. h. man muß ſetzen

$$MT = \frac{\Pi^2 K}{t^2}.$$

Combinirt man dieſen Werth von MT mit der Gleichung $\frac{M}{T} = r^3 \, tang. \, v$, ſo kommt

$$T = \frac{\Pi}{t} \sqrt{\frac{K}{r^3 \, tang. \, v}}.$$

In dieſer Gleichung iſt für K das berechnete Trägheitsmoment des zu den Schwingungsverſuchen angewandten Magnetſtabes, für t die beobachtete Schwingungszeit und für $r^3 \, tang. \, v$ der aus den Ablenkungsverſuchen abgeleitete Gränzwerth dieſes Produkts zu ſetzen. Π hat den bekannten Werth 3,14159.

Für die ſchon oben angegebenen, aus Weber's Beobachtungen genommenen Werthe $t = 6{,}67$, $K = 124335792$ und $r^2 \, tang. \, v = 8833500$ ergiebt ſich

$$T = 1{,}767.$$

Weber legte, wie ſchon bemerkt wurde, bei der Berechnung von T den auf etwas andere Weiſe gefundenen Gränzwerth von $r^3 \, tang. \, v$, nämlich 8765000 zu Grunde und fand danach

$$T = 1{,}774,$$

was von unſerm Reſultate nur um 0,007 abweicht.

Den oben (Seite 47) berechneten Werth von T, nämlich 0,017842, hat man nur mit $\sqrt{g}$, alſo in Zahlen ausgedrückt mit $\sqrt{9808}$, zu multipliciren, um den zuletzt erhaltenen Werth von T zu erhalten.

Der ſo beſtimmte Werth von T iſt nicht der Werth der Intenſität der ganzen magnetiſchen Erdkraft, ſondern nur der ihrer horizontalen Compoſante. Die totale magnetiſche Erdkraft iſt

$$I = \frac{T}{\cos. i}.$$

Je mehr man sich dem magnetischen Meridian nähert, desto größer wird begreiflicher Weise die horizontale Composante T der erdmagnetischen Kraft. So fand man nach der Gauß'schen Methode den Werth von T

in Göttingen 1,774
in München 1,905
in Mailand . . . . 2,018.

Die bisher besprochene von Weber vereinfachte Beobachtungsmethode zur Berechnung der Intensität des Erdmagnetismus giebt Resultate, welche bis auf die Größe der täglichen Variationen der Intensität genau sind.

Die Intensität des Erdmagnetismus hat ihre täglichen Variationen gerade so wie die Declination und Inclination, erst in neuerer Zeit aber hat man diesem für die Theorie des Erdmagnetismus so wichtigen Elemente eine größere Aufmerksamkeit geschenkt. Gauß hat einen Apparat, das Bifilarmagnetometer, construirt, durch welchen die geringste Aenderung der Intensität des Erdmagnetismus nachgewiesen und dem Auge ganz in der Weise sichtbar gemacht wird, wie die Variationen der Declination durch das Magnetometer.

Wenn es uns auch zu weit führen würde, die Einrichtung und den Gebrauch des Bifilarmagnetometers auseinander zu setzen, so müssen wir doch wenigstens das Princip kennen lernen, auf welchem es beruht.

Wir haben gesehen, wie man mit Hülfe des einfachen Magnetometers die Intensität des Erdmagnetismus mit außerordentlicher Genauigkeit ermitteln kann, diese Methode aber ist unbrauchbar, sobald es sich darum handelt, die täglichen Variationen der Intensität zu ermitteln. Unsere Methode zur Bestimmung der magnetischen Intensität beruht auf der Verbindung mehrerer Operationen, welche sämmtlich eine nicht ganz kurze Zeit in Anspruch nehmen, während welcher sich die Intensität ändern kann, man erhält auf diese Weise also nur Mittelwerthe der Intensität, es bleibt ganz verborgen, ob und welche Variationen sie während dieser Zeit erlitten hat.

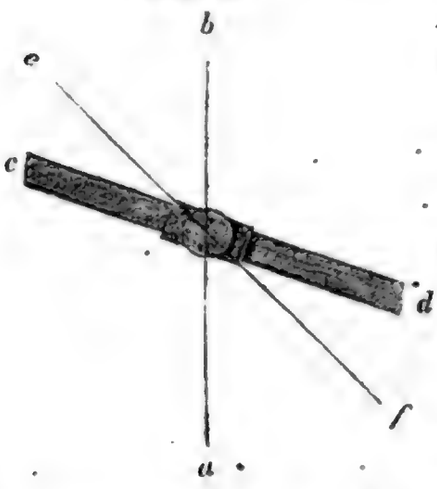
Die Schwingungsdauer eines Magnetstabes, deren genaue Ermittelung namentlich eine etwas längere Zeit in Anspruch nimmt, dient nur dazu, mittelbarer Weise das Drehungsmoment zu bestimmen, welches die erdmagnetische Kraft dem Stabe ertheilt, wenn er sich nicht im magnetischen Meridian befindet. Mit Hülfe des Gauß'schen Bifilarmagnetometers kann man dieses Drehungsmoment auf directem Wege ohne Schwingungsbeobachtungen scharf bestimmen und seine Veränderungen sicher und schnell messen.

Wenn ein Körper, welcher nur durch die Schwerkraft sollicitirt wird, an zwei Fäden aufgehängt ist, so befindet er sich nur dann im Gleichgewichte, wenn die beiden Fäden in einer Ebene liegen, und wenn der Schwerpunkt

des Körpers sich in derselben Ebene zwischen der verlängerten Richtung der beiden Fäden befindet. Sobald man aber den Körper aus dieser Gleichgewichtslage herausdreht, so werden die Fäden gleichsam spiralförmig gewunden, in Folge dessen ein Bestreben entsteht, den Körper in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen. Die Größe dieser richtenden Kraft hängt von der Länge der Fäden und ihrer Entfernung ab.

Denken wir uns an zwei parallelen Fäden einen nicht magnetischen Stab aufgehängt, ungefähr wie Fig. 32 zeigt, so wird der Stab eine bestimmte Gleichgewichtslage annehmen, welche davon abhängt, wie der Stab an den Fäden befestigt ist. Es sey *a b* die Richtung des magnetischen Meridians, und die Directionskraft der Fäden, welche in diesem Grundrisse nur als Punkte erscheinen, möge dem nicht magnetischen Stabe die Lage *c d* geben. Substituirt man für den nicht magnetischen Stab einen magnetischen, so wird er sich weder in den magnetischen Meridian, noch in die Richtung *c d* stellen, sondern er wird irgend eine Zwischenlage *e f* annehmen, welche von dem Verhältnisse der richtenden Kraft des Erdmagnetismus und der der Fäden abhängt.

Fig. 32.



Dies ist das Princip des Gauß'schen Bifilarmagnetometers. Der Magnetstab liegt in einem Schiffchen, welches von zwei 17 Fuß langen Stahldrähten getragen wird. Es ist Alles so eingerichtet, daß die Zwischenlage *e f*, welche der Magnetstab wirklich annimmt, nahe einen rechten Winkel mit dem magnetischen Meridian macht. Es ist klar, daß die geringste Aenderung in der Intensität des Erdmagnetismus die Lage des Magnetstabes ändern müsse; wenn sie stärker wird, so nähert er sich dem magnetischen Meridian, wenn sie abnimmt, so entfernt er sich von demselben. Da nun die Intensität des Erdmagnetismus fortwährend variirt, so schwankt der Magnetstab fortwährend in derselben Weise wie der Magnetstab eines einfachen Magnetometers; die Veränderungen in der Lage des Stabes werden auf dieselbe Weise beobachtet wie beim Magnetometer.

Mittheilung des Magnetismus und Bestimmung der Pole. In einem regelmäßig magnetisirten Stabe ist eigentlich der Magnetismus ganz gleichförmig vertheilt, d. h. in jedem materiellen Theilchen sind die beiden Fluida gleich stark getrennt. Aus dieser Vertheilungsweise geht aber hervor, daß die Stärke der anziehenden und abstoßenden Kraft, welche ein Magnet an verschiedenen Stellen seiner Oberfläche äußert, nicht überall dieselbe seyn kann. Schon beim Eintauchen in Eisenfeilspähne haben wir das

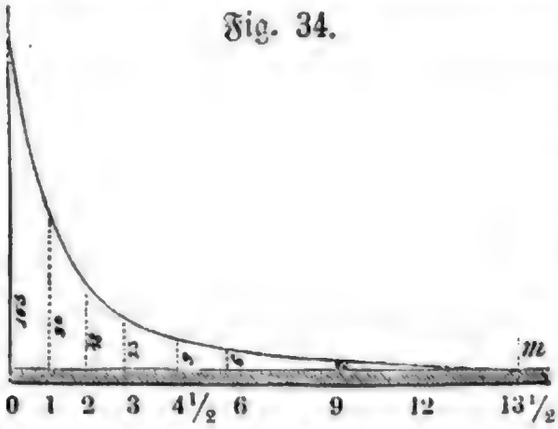
gesehen; wir haben gesehen, daß die Anziehung an den Enden eines Stabes am größten und daß sie in seiner Mitte gleich Null ist.

Das Gesetz, nach welchem die Stärke der magnetischen Wirkung von den Enden eines magnetischen Stabes nach seiner Mitte hin abnimmt, hat Coulomb durch eine Reihe sorgfältiger Versuche ermittelt. Er hing eine kleine ungefähr 1,5 Centimeter lange Probirnadel an einem einfachen Seidenfaden auf und ließ sie zuerst nur unter dem Einflusse des Erdmagnetismus oscilliren; er näherte alsdann den zu untersuchenden Stab der Nadel in vertikaler Richtung, so daß er sich im magnetischen Meridian der Nadel befand. Wenn er den Südpol des Stabes dem Nordpole der Nadel näherte, so wurden die Oscillationen beschleunigt, allein die Beschleunigung der Nadel war ungleich, je nachdem verschiedene Stellen des Stabes der Nadel gegenüber standen, die Schwingungen wurden nämlich um so langsamer, je mehr die der Nadel gegenüber gehaltenen Stellen sich der Mitte des Magnetstabes näherten. Wenn die Mitte der Nadel dem Stabe gegenüber stand, oscillirte die Nadel gerade so schnell, als ob der Stab gar nicht da wäre. Aus der für jede Stelle des Stabes beobachteten Schwingungsdauer konnte man auf die Stärke ihrer magnetischen Anziehung auf dieselbe Weise schließen, die wir schon oben kennen gelernt haben.

Fig. 33.

Die Resultate seiner Beobachtungen lassen sich, wie Fig. 34 geschehen ist, graphisch darstellen. Es stellt *ma* die eine Hälfte eines Magnetstabes dar, *m* ist seine Mitte, *a* das eine Ende. Die an verschiedenen Stellen errichteten Ordinaten sind der an dieser Stelle beobachteten magnetischen Intensität proportional nach einer beliebigen Einheit aufgetragen. Man sieht, daß am Ende *a* die Intensität am größten ist, daß sie von *a* gegen die Mitte hin anfangs sehr rasch abnimmt und in der Mitte Null wird. Die Kurve hat für alle Stäbe, deren Länge mehr als 6 bis 8 Zoll beträgt, genau dieselbe Gestalt, so daß in der Mitte ein mehr oder weniger großer Raum sich befindet, für welchen die Intensität so gut wie Null ist. Es geht daraus hervor, daß die Pole aller Magnetstäbe, deren Länge mehr als 6 bis 8 Zoll beträgt und welche gleich stark sind, in gleichen Entfernungen von den Enden liegen; denn da ein Pol nichts ist als der Angriffspunkt der Resultirenden aller einzelnen anziehenden Kräfte, so muß die Lage dieses Pols immer dieselbe bleiben, so

Fig. 34.



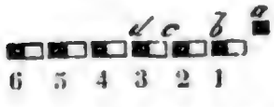
lange die in den verſchiedenen Punkten angreifenden Kräfte daſſelbe Geſetz befolgen.

Für ſolche längere Stäbe hat Coulomb durch Rechnung gefunden, daß die Pole ungefähr 18 Linien weit von den Enden entfernt liegen. Bei kürzeren Magnetſtäben beträgt die Entfernung der Pole von den Enden ungefähr $^1/_3$ der halben Länge. Bei einem 3 Zoll langen Stabe werden alſo die Pole etwas mehr als 6 Linien von den Enden entfernt ſeyn.

Dieſe Reſultate ſetzen jedoch voraus, daß die übrigen Dimenſionen des Stabes im Vergleich zu ſeiner Länge ſehr klein ſind, daß ſie eine ganz regelmäßige Geſtalt haben und daß ſie ganz gleichförmig magnetiſirt ſind. Wenn dieſe Bedingungen nicht erfüllt ſind, laſſen ſich die Pole nicht mehr theoretiſch beſtimmen, man muß ſie direct mit einer Probirnadel ſuchen, wenn es etwa darauf ankommen ſollte, ihre Lage zu kennen. Bei rautenförmigen Nadeln liegen die Pole der Mitte näher.

Die nach den Enden eines Magnetſtabes hin immer ſtärker werdende magnetiſche Intenſität läßt ſich aus der Vorſtellung, die man ſich von einem Magneten macht (Seite 9), ſehr leicht erklären. Es ſey Fig. 35

Fig. 35.



eine Reihe von Partikeln, welche einen Magnetſtab bilden. In jedem Partikel ſind die beiden Fluida getrennt und auf dieſelbe Weiſe gerichtet. Es befinde ſich nun in a ein magnetiſches Element, welches mit dem Magnetismus der ſchwarzen Stellen von gleicher Natur iſt. Die eine Hälfte des mit 1 bezeichneten Partikelchens zieht es an, die andere Hälfte ſtößt es ab, die Anziehung iſt aber vorherrſchend, weil die weiße Hälfte des Partikelchens 1 dem Punkte a näher liegt. Bezeichnen wir die Reſultirende der beiden Kräfte, alſo die Anziehung, welche das Partikel 1 als Ganzes auf a ausübt, mit r. Das Partikel 2 wirkt ganz auf dieſelbe Weiſe auf das Element in a, nur iſt ſeine Totalwirkung r' wegen der größern Entfernung bedeutend kleiner. Noch kleiner iſt die Wirkung r'' des Partikelchens 3 auf das Element in a u. ſ. w. Die Totalanziehung des Magnetſtabes auf das Element a läßt ſich alſo durch die Summe

$$S = r + r' + r'' + r''' + etc.$$

darſtellen, wo jedes folgende Glied immer kleiner iſt als das vorhergehende.

Befände ſich das Element, auf welches der Stab wirkt, nicht in a, ſondern in b, ſo würde ſich die Wirkung der beiden Partikelchen 1 und 2 offenbar aufheben, das Theilchen 3 iſt das erſte, deſſen Wirkung in Betracht zu ziehen iſt; es iſt aber von b ſo weit entfernt wie 2 von a; die Kraft, mit welcher es das Element in b anzieht, iſt alſo ungefähr gleich r', kurz, die Totalwirkung des Stabes auf b iſt

$$S' = r' + r'' + r''' + etc.$$

Daß S' ſchon bedeutend kleiner ſeyn muß als S, ergiebt ſich daraus, daß

man den Werth von S' erhält, wenn man von dem Werthe von S das größte Glied der Summe, nämlich r, wegnimmt.

Befände sich das magnetische Element, auf welches der Stab wirkt, in c, so würden sich die Wirkungen von 1 und 4, von 2 und 3 aufheben. Das Theilchen 5 ist also gewissermaßen das nächste, welches auf c wirkt, und seine Wirkung läßt sich durch r'' ausdrücken, der Totaleffect des Stabes auf e aber durch die Reihe

$$S'' = r'' + r''' + etc.,$$

welche wieder bedeutend kleiner ist als S. In der Weise kann man nun fortschließen und findet auch leicht, daß die Wirkung in der Mitte des Stabes gleich Null seyn müsse.

Viertes Kapitel.

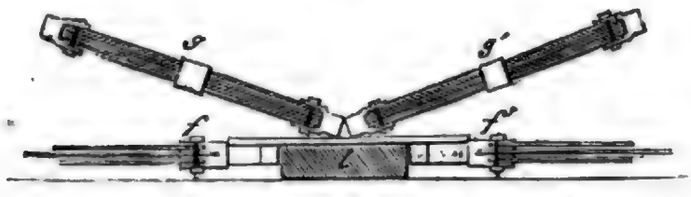
Von den verschiedenen Methoden des Magnetisirens und den Ursachen, welche die Coercitivkraft modificiren.

Die Methode von Duhamel oder der getrennte Strich besteht 21
darin, daß man zwei starke Magnetbündel von der Art, wie sie Fig. 36

Fig. 36.

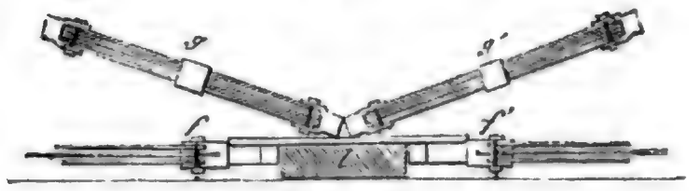
dargestellt sind, so legt, daß die Axe des einen Bündels in die Verlängerung der Axe des andern zu liegen kommt, und daß entgegengesetzte Pole einander zugekehrt sind, wie man Fig. 37 sieht, wo f den einen Pol des einen Bündels, f' den ungleichnamigen des andern darstellt. Die zu magnetisirende Nadel legt man nun so, wie man in der Fig. 37 sieht, und unterstützt sie in der Mitte noch durch ein Holzstück l, auf welchem man sie auch noch befestigen

Fig. 37.



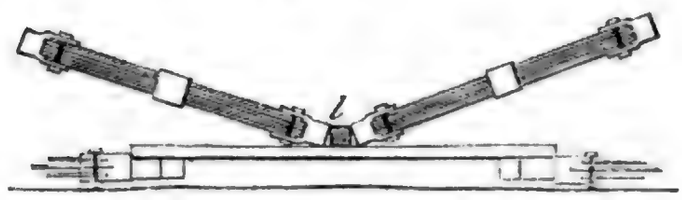
kann, damit keine Verrückung möglich ist. Nun nimmt man die beiden Streichmagnete g und g', den einen in die rechte, den andern in die linke Hand, setzt sie 25 bis 30 Grad gegen die Horizontale geneigt in der Mitte des zu magnetisirenden Stabes auf, streicht alsdann mit langsamer regelmäßiger Bewegung von der Mitte aus gegen die Enden, so daß die Magnetbündel g und g' gleichzeitig an den entgegengesetzten Enden der Nadel ankommen, hier hebt man sie ab, setzt wieder in der Mitte auf und wiederholt dann dasselbe Verfahren mehrere Mal. Es versteht sich von selbst, daß die Streichmagnete die Nadel mit demjenigen Pol berühren müssen, nach welchem man sie hinführt. Diese Methode ist besonders geeignet, um Magnetnadeln für Boussolen oder Stahlstäbe, welche nicht mehr als 4 bis 5 Millimeter dick sind, regelmäßig und vollständig zu magnetisiren.

Fig. 38.



22 **Das Verfahren von Aepinus oder der Doppelstrich** ist anzuwenden, wenn die Stahlstäbe mehr als 4 bis 5 Millimeter dick sind, denn für diese ist die eben beschriebene Methode unzureichend. Der Doppelstrich wird folgendermaßen ausgeführt. Man legt den zu magnetisirenden Stab auf dieselbe Weise zwischen zwei Magnetbündel wie bei Duhamel's Methode und setzt auch die beiden Streichmagnete auf dieselbe Weise in der Mitte auf, nur giebt man ihnen eine noch geneigtere Stellung, so daß sie nur einen Winkel von 15 bis 20 Grad mit der Horizontalen machen. Alsdann streicht man mit ihnen nicht nach den entgegengesetzten Polen, sondern man bewegt beide nach demselben Stabende hin, alsdann zurück den ganzen Stab entlang. Nachdem man sie auf diese Weise zusammen hinlänglich oft über den Magneten hin und her geführt hat, hebt man sie von der Mitte des Stabes wieder ab. Um diese Operation bequemer zu bewerkstelligen, kann man die beiden Streichmagnete auf einer Art Dreieck von Holz oder Messing befestigen; auf jeden Fall aber muß zwischen den unteren Enden der Streichmagnete ein Zwischen-

Fig. 39.



raum von 5 bis 6 Millimetern seyn, die man am besten durch ein Stückchen Holz, Messing oder Blei sichert, welches in unserer Figur durch *l* bezeichnet ist.

Der Doppelstrich giebt einen starken Magnetismus; er darf aber zum Magnetisiren von Nadeln für Boussolen und Stäbe, welche zu genauen Untersuchungen dienen sollen, nicht angewendet werden, weil er fast immer ungleich starke Pole giebt und leicht Folgepunkte veranlaßt.

Der Sättigungspunkt. Die Quantität des Magnetismus, welche 23
einem Körper mitgetheilt werden kann, hängt stets von der Stärke der Streichmagnete ab, die Quantität des Magnetismus aber, welche ein Körper behält, hat eine Gränze, welche man den Sättigungspunkt nennt. Eine Nadel z. B., welche nur 100 Schwingungen in 100 Sekunden macht, wenn man sie mit schwachen Stäben magnetisirt, wird schon in 90, 80, 70 u. s. w. Sekunden 100 Schwingungen machen, wenn man sie stärker magnetisirt. Wenn man aber sehr stark magnetisirt hat, so kann es kommen, daß gleich nach der Operation die Nadel einen stärkeren Magnetismus zeigt als später, daß sie also einen Theil ihres Magnetismus wieder verliert. Wenn die magnetische Intensität unter einer gewissen Gränze bleibt, welcher z. B. 100 Schwingungen in 40 Sekunden entsprechen, behält die Nadel ihren Zustand unverändert, d. h. nach Monaten und Jahren macht sie auch noch 100 Schwingungen in 40 Sekunden. Wenn man aber dieser Nadel eine größere Intensität mitgetheilt hätte, so daß sie gleich nach dem Magnetisiren 100 Schwingungen in 30 oder in 20 Sekunden gemacht hätte, so würde ihre Stärke rasch bis zu dem Punkte abnehmen, wo sie wieder 100 Schwingungen in 40 Sekunden macht, und diese Gränze ist der Sättigungspunkt. Es ist klar, daß der Sättigungspunkt einer Nadel oder eines Stabes nur von ihrer Coërcitivkraft und nicht von der Stärke der Magnetstäbe abhängt, die man zum Magnetisiren anwendet.

Um zu erkennen, ob eine Nadel bis zum Sättigungspunkte magnetisirt sey, hat man kein anderes Mittel, als sie mit stärkeren Magneten in demselben Sinne von Neuem zu magnetisiren. Wenn sie dadurch bleibend stärker wird, so war sie nicht bis zur Sättigung magnetisirt.

Man könnte vielleicht glauben, daß man durch fortgesetztes Streichen eine Magnetnadel beliebig verstärken könne; aber über eine gewisse Anzahl von Strichen hinaus hilft ein ferneres Streichen nichts mehr, und diese Gränze wird erreicht, wenn der Widerstand der Coërcitivkraft der zersetzenden Kraft des streichenden Magneten gleich ist.

Wenn man eine stark magnetisirte Nadel mit schwachen Magneten streicht, so verliert sie wieder von ihrer Stärke.

Einfluß des Härtens auf die Coërcitivkraft. Den größten Här- 24
tegrad giebt man dem Stahle dadurch, daß man ihn hell-rothglühend macht

und dann raſch in kaltem Waſſer ablöſcht. Manchmal löſcht man den Stahl auch in Oel, Seifenwaſſer, Queckſilber u. ſ. w. ab. Die Verſchiedenheit dieſer Methoden ſcheint aber keinen Einfluß auf die Coërcitivkraft des Stahls zu haben.

Der auf dieſe Weiſe vollſtändig gehärtete Stahl hat freilich die größte Coërcitivkraft, er iſt alſo auch eines ſtärkern Magnetismus fähig als der angelaſſene Stahl, allein er bricht wie Glas, und es hält oft ſehr ſchwer, ihn regelmäßig zu magnetiſiren, weil in demſelben leicht Folgepunkte entſtehen. Man zieht deshalb für künſtliche Magnete den angelaſſenen Stahl vor, obgleich ſeine Coërcitivkraft etwas geringer iſt.

Das Anlaſſen des Stahls geſchieht dadurch, daß man den glasharten Stahl über Kohlen allmälig erwärmt. Je mehr nun die Hitze ſteigt, deſto mehr verliert ſich die urſprüngliche Härte und Sprödigkeit. Bei dem allmäligen Erwärmen nimmt der Stahl auf ſeiner Oberfläche brillante Farben an, welche, in regelmäßiger Ordnung auf einander folgend, ſichtbar werden wie die Temperatur ſteigt. Zuerſt geht die natürliche Metallfarbe in blaßgelb über, bei zunehmender Hitze wird ſie orange, dunkelorange, violetroth, dann lebhaft blau, worauf ein lebhaftes grünlich blau, die Waſſerfarbe, folgt. Die erſte dieſer Nüancen entſpricht ungefähr einer Temperatur von 200°, die letzte, die Waſſerfarbe, einer Temperatur von 450°. Bei noch weiterem Erwärmen geht die Farbe in dunkelroth und dann in helles kirſchroth über, wobei ſich dann bei langſamem Erkalten alle Härte verliert.

Man hat nun durch Verſuche gefunden, daß Stahl, welcher bis zur blauen (wie die Uhrfedern), ja bis zur Waſſerfarbe angelaſſen iſt, noch eine hinlänglich ſtarke Coërcitivkraft hat, und daß Stahl von dieſem Härtegrade ſich am beſten für künſtliche Magnete eignet.

Einfluß der Wärme auf den Magnetismus. Wir haben ſchon geſehen, daß ein natürlicher Magnet ſowohl wie ein künſtlicher ſeinen Magnetismus vollſtändig verliert, wenn man ihn bis zum Weißglühen erhitzt; d. h. nach dem Erkalten bemerkt man an ihm durchaus keine magnetiſchen Eigenſchaften mehr. Dieſe Beobachtung iſt ſchon von Gilbert gemacht worden. Dadurch verlieren aber die Körper die Eigenſchaft nicht, wieder magnetiſch zu werden, wenn man ſie durch die bekannten Verfahrungsarten wieder magnetiſirt. Ihre Coërcitivkraft iſt jedoch geändert; die der natürlichen Magnete nimmt ab, ohne daß man im Stande iſt, ſie in ihrer urſprünglichen Stärke wieder herzuſtellen, die der künſtlichen Magnete iſt ganz zerſtört, läßt ſich aber durch neues Härten vollkommen wieder herſtellen.

Die Wiedervereinigung der getrennten magnetiſchen Fluida geſchieht nicht auf einmal bei der Rothglühhitze, ſondern nach und nach in dem Maaße

als die Temperatur steigt. Um sich davon zu überzeugen, nehme man einen Magnetstab, dessen Stärke man durch die Oscillationsdauer bestimmt; man erhitze ihn nach einander bis zu verschiedenen Wärmegraden und lasse ihn jedesmal wieder erkalten. Hat man ihn z. B. bis 100° erwärmt, so wird er nach dem Erkalten langsamer oscilliren als vorher. Erwärmt man ihn dann bis auf 200°, so wird man finden, daß sein Magnetismus wieder abgenommen hat u. s. w.

Kupffer hat bemerkt, daß man einen Magneten längere Zeit einer bestimmten Temperatur aussetzen muß, wenn er allen Magnetismus verlieren soll, den er bei dieser Temperatur überhaupt verlieren kann. Eine Magnetnadel z. B., welche mehrmals nach einander 10 Minuten lang in kochendes Wasser gesteckt wurde, verlor erst nach 6 Eintauchungen ihren Magnetismus, soweit es für diese Temperatur möglich war. Um 200 Schwingungen zu machen, brauchte sie vor dem ersten Eintauchen 578 Sekunden, nach dem ersten Eintauchen 637″, nach dem zweiten 642″, nach dem dritten 645″, nach dem vierten 647″, nach dem fünften 650″, nach dem sechsten 652″ und nach dem siebenten Eintauchen endlich wieder 652 Sekunden.

Ein Magnet, bis zu heller Rothglühhitze erwärmt, verliert seinen Magnetismus so vollständig, daß er sich gegen Eisen, gegen einen andern Magneten ganz indifferent verhält. Ebenso wird auch glühendes Eisen von einem Magneten nicht mehr angezogen. Bei dem Eisen giebt es also eine Temperaturgränze, über welche hinaus es für den Einfluß des Magnetismus unempfänglich ist.

Die Betrachtung dieser magnetischen Gränze führt uns auf den Gedanken, daß es auch für andere Körper eine solche magnetische Gränze geben könne, und in der That hat der Versuch diese Erwartung bestätigt, es hat sich ergeben:

1) Daß für Kobalt diese Gränztemperatur noch weit über der Weißglühhitze liegen müsse, denn in den höchsten Temperaturen, welchen man das Kobalt aussetzte, fand man es noch magnetisch;

2) Daß die magnetische Gränze des Chroms etwas unter der Temperatur des Dunkelrothglühens liege;

3) Daß die magnetische Gränze des Nickels ungefähr bei 350°, d. h. in der Nähe des Schmelzpunktes des Zinks liegt;

4) Daß die magnetische Gränze des Braunsteins 20 bis 25° über Null liegt.

Einfluß des Lichtes auf den Magnetismus. Morichini war der 26
erste, welcher behauptete, daß die violeten Strahlen und diejenigen, welche dem violeten Ende des Spectrums nahe liegen, im Stande sind, Stahlnadeln magnetisch zu machen. Viele, welche den Versuch machten, fanden

Morichini's Behauptung nicht bestätigt, doch ist jetzt die erwähnte Fähigkeit des violeten Lichts, Stahlnadeln zu magnetisiren, durch Lady Sommerville außer Zweifel gesetzt. Wenn der Versuch gelingen soll, so darf man nicht die ganze Nadel der Wirkung der violeten Strahlen des prismatischen Bildes aussetzen, sondern nur diejenige Hälfte, welche zum Nordpol werden soll, zu welchem Zwecke man die andere Hälfte mit Papier verdeckt. Bei dieser Vorsicht werden die Nadeln in einigen Stunden magnetisch.

Die blauen und grünen Strahlen des Spectrums bringen dieselbe Wirkung hervor, wie die violeten, nur in geringerm Grade; die gelben, orangefarbigen und rothen sind wirkungslos, selbst bei dreitägiger Fortsetzung der Versuche.

Auch Nadeln, welche halb bedeckt unter ein mit Kobalt blau oder grün gefärbtes Glas gelegt und dann der Einwirkung des Sonnenlichts ausgesetzt wurden, erhielten magnetische Eigenschaften. Dieselbe Wirkung erhält man, wenn man eine Nadel zur Hälfte mit einem grünen oder blauen Bande umwickelt dem Tageslichte aussetzt.

27 **Natürliche und künstliche Magnete.** Wir haben schon gesehen, daß man diejenigen Substanzen natürliche Magnete nennt, welche in magnetischem Zustande aus dem Schooße der Erde hervorgeholt werden, künstliche Magnete hingegen die, in welchen man durch irgend eine der angeführten Verfahrungsarten den Magnetismus fixirt. Nachdem wir gesehen haben, wie man Magnete macht, bleibt nur noch übrig zu zeigen, wie man ihre Kraft erhalten kann und wie man sie verbinden muß, um ihre Wirkung zu vermehren.

Man kann einen magnetischen Stab in eine solche Lage bringen, daß der Erdmagnetismus ein Bestreben hat, eine theilweise Vereinigung der getrennten Flüssigkeiten zu bewirken. Wenn man z. B. in unseren Gegenden einen Magnetstab in vertikaler Stellung so hält, daß sein Südende nach unten gekehrt ist, so wird er geschwächt werden, und wenn man ihm in dieser Stellung mehrere Schläge mit einem Hammer gäbe, so würde er nach einiger Zeit ganz schwach, ja endlich sogar seine Pole ganz umgekehrt werden. Um dies zu verhindern, wendet man Armaturen an. Armaturen heißen Stücke von weichem Eisen, welche man mit dem Magneten in Berührung bringt, um sie selbst durch die im weichen Eisen hervorgebrachte magnetische Zersetzung in Thätigkeit zu erhalten. Um Magnetstäbe zu armiren, verfährt man am besten so, wie man aus Fig. 40 sieht. Man legt zwei gleiche Magnetstäbe so parallel neben einander, daß immer der Nordpol des einen nach derselben Seite gerichtet ist wie der

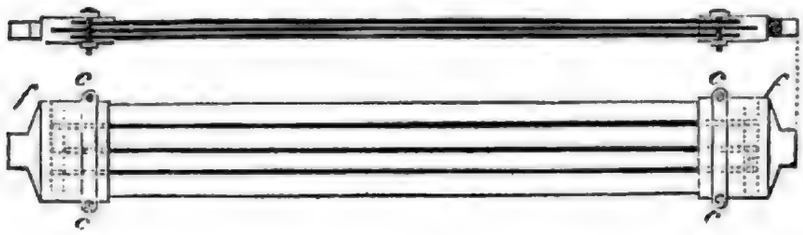
Fig. 40.

Südpol des andern, und fügt dann zwei Stücke von weichem Eisen *a b* und *c d* so an, daß dadurch das Parallelogramm geschlossen wird. Jedes dieser Eisenstücke wird nun natürlich selbst ein Magnet, der auf die Magnetstäbe *N S* und *N' S'* in der Weise zurückwirkt, daß dadurch die getrennten Flüssigkeiten an den entsprechenden Enden fixirt werden.

Magnetnadeln und Magnetstäbe, welche durch den Erdmagnetismus gerichtet sind, sind gewissermaßen durch die Erde armirt.

Ein magnetisches Magazin ist eine Verbindung von mehreren einzelnen Magnetstäben. Fig. 41 zeigt ein solches nach Coulomb's Methode

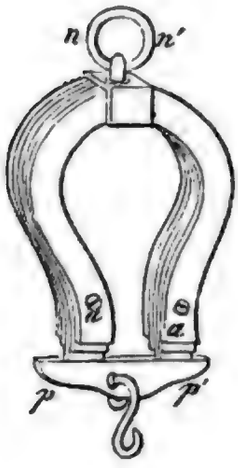
Fig. 41.



construirtes. Es besteht aus 12 einzelnen Magnetstäben, die 3 Schichten, jede von 4 Stäben, bilden. Die Stäbe der mittleren Schicht sind um 2,5 bis 3 Zoll kürzer als die der obern und untern, so daß sie ungefähr 15 bis 18 Linien auf jeder Seite vorsteht. Alle Stäbe haben übrigens vollkommen gleiche Dimensionen und sind in Eisenstücken *f* befestigt, die als Armatur dienen. Die Messingbänder *c c'* dienen dazu, die Stäbe und Armatur gehörig fest zusammenzuhalten. Solche große Magnetbündel bleiben fest liegen, wenn man sich ihrer zum Magnetisiren bedient. Die kleineren, die man zum Streichen gebraucht, sind nach demselben Principe construirt.

Fig. 42 stellt einen Hufeisenmagnet dar. Er besteht aus mehreren hufeisenförmig gebogenen Stahlplatten, welche unmittelbar auf einander gelegt werden. Zwei Schrauben *a* und *a* von Eisen oder Messing halten sie zusammen. Jede Platte wird vor dem Zusammensetzen für sich magnetisirt, indem man das eine Ende auf den Nordpol eines starken Magnetbündels, das andere Ende auf den Südpol eines andern legt und, von der Mitte der Krümmung ausgehend, die Methode des Doppelstriches anwendet. Ein Ring *n n'* dient, um den Magneten aufzuhängen, und ein Stück weiches Eisen *p p'*, der Anker, bildet die Armatur. Gute Hufeisenmagnete können das 10- bis 20fache ihres Gewichtes tragen.

Fig. 42.



Die Armatur der natürlichen Magnete iſt Fig. 43 und 44 dargeſtellt.

Fig. 43.

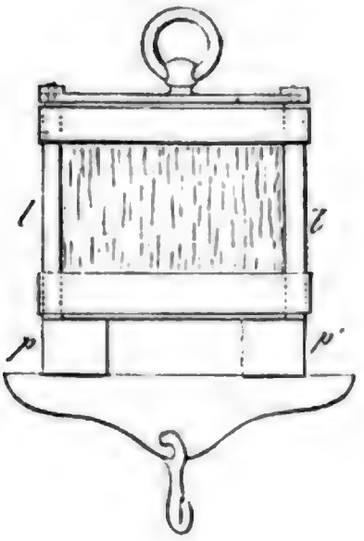
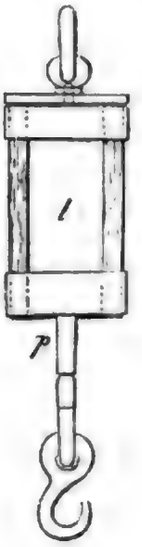


Fig. 44.



Die Theile *l* und *l'* ſind die Flügel der Armatur, *p p'* die Füße. Man macht die Flügel faſt ſo breit wie den Magneten und ungefähr eine Linie dick. Die Dimenſionen der Füße hängen von der Stärke des Magneten ab.

Bei natürlichen Magneten ſowohl wie bei künſtlichen beobachtet man ein merkwürdiges Phänomen, welches man noch nicht genügend zu erklären weiß, nämlich die Schwäche, welche eine Ueberladung zur Folge hat. Nehmen wir an, ein Magnet könne 20 Kil. tragen. Wenn man nun täglich ein kleines Gewicht zufügt, ſo kann man ſeine Tragkraft vermehren, man kann es dahin bringen, daß er 30, daß er 40 Kil. trägt; ſobald aber durch ein zu großes Gewicht der Anker abgeriſſen wird, nimmt die Kraft des Magneten bedeutend ab, er trägt kaum mehr die 20 Kil., von denen man ausgegangen war. Wenn man aber ein geringeres Gewicht anhängt und daſſelbe mit Vorſicht nach und nach wieder vermehrt, ſo kann man es dahin bringen, daß er nach einiger Zeit ſeine frühere Stärke wieder erhält.

Zweite Abtheilung.

Von der Elektricität.

Erstes Kapitel.

Von den elektrischen Wirkungen.

Es giebt Körper, welche durch Reiben die Eigenschaft erlangen, leichte Körper anzuziehen. Man kann sich leicht überzeugen, daß die Körper in ihrem gewöhnlichen Zustande durchaus die Eigenschaft nicht haben, leichte Körper, wie Goldflitter, Sägespähne, Papierschnitzel, Kügelchen von Hollundermark u. s. w. anzuziehen. Wenn man aber mit Wollen- oder Seidenzeug einen Glasstab, eine Stange Schwefel oder Siegellack, ein Stück Bernstein u. s. w. reibt, so erlangen diese Körper sogleich jene merkwürdige Eigenschaft. Die anziehende Kraft ist so groß, daß schon in einer Entfernung von mehr als einem Fuß leichte Körper zu dem anziehenden aufgezogen werden (Fig. 45). Die Ursache dieses Phänomens nennt man Elektricität nach dem griechischen Worte ἤλεκτρον, welches Bernstein bedeutet, an welchem die griechischen Philosophen zuerst diese merkwürdige Eigenschaft beobachtet hatten. 28

Fig. 45.

Um mit Sicherheit entscheiden zu können, ob ein Körper durch Reiben elektrisch wird oder nicht, wendet man Apparate an, welche Elektroskope genannt werden.

Das einfachste Elektroskop ist das **elektrische Pendel** (Fig. 46). Es besteht aus einer kleinen Kugel von Hollundermark, welche an einem feinen Seidenfaden aufgehängt ist. Wenn man einen Körper prüfen will, so nähert man ihn dem Kügelchen; wird es angezogen, so ist der Körper elektrisch, wird es aber nicht angezogen, so ist er entweder nicht elektrisch oder seine Elektricität ist doch zu schwach, um hier eine Wirkung hervorzubringen.

Fig. 46.

Die elektrische Nadel (Fig. 47 auf folgender Seite) ist etwas empfindlicher als das elektrische Pendel. Sie besteht aus einem Messingdrahte, welcher in zwei metallischen

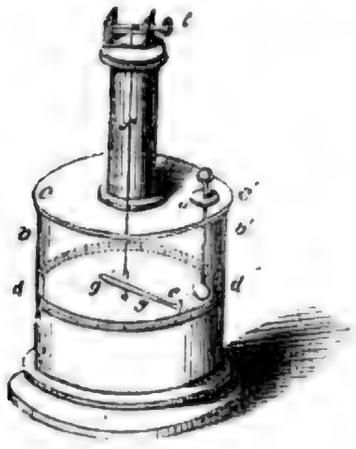
Kugeln endigt, die aber der größeren Leichtigkeit wegen wo möglich hohl

Fig. 47.

seyn müssen. In der Mitte des Drahtes befindet sich ein Stahl- oder Achathütchen, welches auf einer feinen Spitze ruht. Eine geringe elektrische Kraft reicht schon hin, die Nadel in Bewegung zu setzen.

Coulomb's Elektroskop (Fig. 48) ist ein sehr empfindlicher Apparat. Ein Schellackstäbchen $g\ g'$, welches an dem einen Ende ein Scheibchen c von Rauschgold trägt, hängt an einem Conconfaden f. Das obere Ende des Fadens f ist um ein horizontales Stäbchen t geschlungen, durch dessen Umdrehung der horizontale Schellackhebel $g\ g'$ nach Belieben gehoben oder niedergelassen werden kann. Ein Glascylinder $v\ v'$ schützt die Nadel $g\ g'$ vor dem störenden Einflusse von Luftströmungen; er trägt einen getheilten Kreis $d\ d'$ und ist oben durch einen Deckel $c\ c'$ verschlossen, in welchem sich eine Oeffnung befindet, durch die man die elektrisirten Körper langsam in den Cylinder hineinsteckt, welche dann das Scheibchen c zuerst anziehen, dann aber abstoßen und dadurch die Nadel drehen, wenn ihre Elektricität nicht stark genug ist, um von außen durch das Glas hindurchzuwirken.

Fig. 48.



Mit Hülfe dieser Apparate kann man untersuchen, in wiefern die verschiedenen Körper durch Reiben elektrisch werden oder nicht. Man findet, daß alle Harze, Bernstein, Schwefel, Glas durch Reiben stark elektrisch werden; Edelsteine, Holz, Kohle geben selten geringe Spuren von Anziehung; Metalle endlich scheinen auf den ersten Anblick durch Reiben gar nicht elektrisch gemacht werden zu können, denn man mag einen Metallstab, den man in den Händen hält, noch so stark reiben, man erhält an allen diesen Apparaten auch nicht die mindesten Spuren von Anziehung. Man zerfällte danach alle Körper in zwei große Klassen, in solche, welche durch Reiben elektrisch werden, und solche, welche diese Eigenschaft nicht haben. Erstere nannte man idioelektrische, letztere anelektrische Körper.

Diese Eintheilung beruht jedoch auf einer irrigen Meinung, denn man hat gefunden, daß alle Körper, selbst Metalle, durch Reiben elektrisch gemacht werden können, und wenn man bei vielen durch Reiben keine Spur von Elektricität erhalten kann, so liegt die Ursache davon in anderen Umständen, die wir bald näher werden kennen lernen.

29 **Leiter und Nichtleiter.** Man war früher der Meinung, daß die Körper, welche man mit dem Namen der anelektrischen bezeichnet hatte, auf keinerlei Weise in den elektrischen Zustand versetzt werden könnten. Ein

englischer Physiker Gray machte im Jahre 1727 Versuche mit einer an beiden Enden offenen Glasröhre. Er wollte sehen, ob sie auch elektrisch würde, wenn sie an beiden Enden mit Korkstopfen verschlossen war; in jener Epoche war nämlich die Wissenschaft noch so wenig vorgeschritten, daß man eben in den Tag hinein experimentirte, weil man noch keine Ansicht, noch keine Theorie hatte, welche den Gang der Versuche hätte leiten können. Zu seinem größten Erstaunen fand nun Gray, daß die Stopfen selbst elektrisch geworden waren, obgleich der Kork in die Klasse der anelektrischen Körper gehört. Ein in den Kork gesteckter Metalldraht wurde auch elektrisch, so lang er ihn auch wählen mochte; ja er begab sich mit seiner elektrischen Röhre in das erste, zweite, dritte Stockwerk seines Hauses und ließ den Metalldraht bis auf den Boden herabhängen. Er rieb die Glasröhre, einer seiner Freunde näherte dem untern Ende des Drahtes leichte Körperchen und siehe, sie wurden angezogen. Es folgte daraus, daß die Metalle die Eigenschaft haben, den elektrischen Zustand anzunehmen und fortzupflanzen. Dieselbe Eigenschaft haben aber alle anelektrischen Körper, man nannte sie deshalb Leiter der Elektricität. Die idioelektrischen Körper dagegen sind keine Leiter; denn wenn man z. B. einen Glasstab durch Reiben an einem Ende elektrisch macht, so zeigt das andere Ende keine Spur von Anziehung.

Man kann diese Fundamentalwahrheit sehr gut mit Hülfe der Elektrisirmaschine nachweisen, welche wir, ohne noch ihre Einrichtung zu kennen, doch vor der Hand schon als Mittel anwenden können, um Elektricität zu entwickeln. Der Conductor der Maschine ist ein metallischer Körper, welcher elektrisch gemacht wird. Wenn man mit dem in den elektrischen Zustand versetzten Conductor einen langen an Seidenschnüren aufgehängten Metalldraht, oder bequemer einen cylindrischen Metallkörper, der auf einem Glasfuße steht, in Verbindung bringt, so wird das Metall seiner ganzen Ausdehnung nach elektrisch; sobald man es aber durch irgend einen guten Leiter mit dem Boden in Verbindung setzt, verschwindet alle Elektricität augenblicklich.

Es geht daraus auch hervor, daß die Seidenfäden, der Glasstab, Nichtleiter der Elektricität, daß sie Isolatoren sind. Ein Leiter der Elektricität kann also nur so lange elektrisch bleiben, als er isolirt, d. h. von lauter Nichtleitern umgeben ist. Auch die Luft ist ein Isolator, denn sonst würde die Elektricität von dem Metalle augenblicklich durch die Luft abgeführt werden.

Wasser und Wasserdampf sind gute Leiter, deshalb verliert sich die Elektricität, welche auf einem isolirten Leiter bei trockner Luft lange haftet, sehr schnell, wenn die Luft feucht ist.

Auch der menschliche Körper ist ein guter Leiter. Wenn man, auf dem Boden stehend, den Conductor der Elektrisirmaschine anfaßt, so wird alle

Elektricität, welche durch das Drehen derselben erzeugt wird, sogleich abgeführt, wenn man aber auf einem schlechten Leiter, etwa auf einem Harzkuchen, steht, so wird der ganze Körper elektrisch. Man sieht jetzt auch ein, warum eine Metallstange, die man in der Hand hält, durch Reiben nicht elektrisch wird; alle Elektricität nämlich, welche man durch das Reiben erhält, wird sogleich durch den menschlichen Körper wieder abgeführt.

Die besten Isolatoren werden Leiter, wenn sich Wasserdampf auf ihnen niederschlägt. Es ist deshalb für den Erfolg elektrischer Versuche von der größten Wichtigkeit, Glasfüße, Harzstangen u. s. w., welche einen Leiter isoliren sollen, durch Erwärmen und Reiben gehörig trocken zu machen.

Statt die Körper in Leiter und Nichtleiter einzutheilen, müßte man sie, um genauer zu reden, gute oder schlechte Leiter nennen, denn absolute Nichtleiter giebt es nicht. Schellack, überhaupt Harze, Seide und Glas sind die schlechtesten Leiter, die es giebt; die Metalle hingegen sind die besten Leiter.

Von den beiden Arten der Elektricität. Nehmen wir ein einfaches elektrisches Pendel (Fig. 49) zur Hand, dessen Kügelchen an einem Seidenfaden aufgehängt ist. Wenn man eine geriebene Glas- oder Schellackstange nähert, so wird das Hollundermarkkügelchen stark angezogen, es berührt die Stange, bleibt aber nur einige Augenblicke daran haften, um alsbald abgestoßen zu werden. Diese Repulsion rührt von der Elektricität her, welche dem Kügelchen durch die Berührung mit der Stange mitgetheilt worden ist, denn wenn man es mit der Hand berührt und es dadurch wieder auf seinen natürlichen Zustand zurückführt, wird es von Neuem angezogen und nach der Berührung abermals abgestoßen. Daß das abgestoßene Kügelchen wirklich elektrisch ist, geht auch daraus hervor, daß es selbst von Körpern, die sich im natürlichen Zustande befinden (man muß jedoch zu diesem Versuche Leiter wählen), angezogen wird.

Fig. 49.

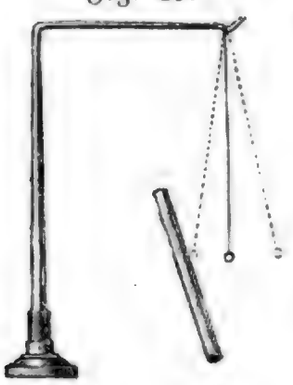
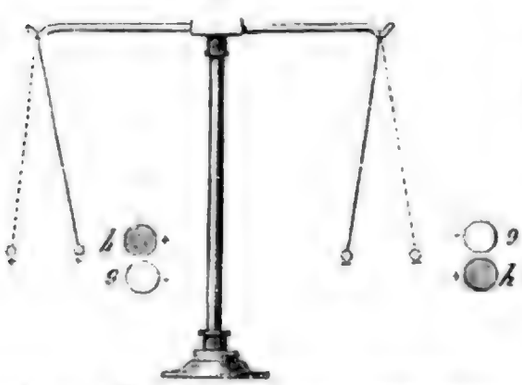


Fig. 50.



Wenn man zwei isolirte Pendel nimmt, von denen das eine durch Berührung mit einer Glasstange, die mit Seide gerieben worden war, das andere durch eine mit Pelz gereibene Schellackstange elektrisch gemacht worden ist, so beobachtet man folgende merkwürdige Erscheinung. Das eine Kügelchen, welches durch die Glasstange abgestoßen wird, wird durch die Schellackstange angezogen, das vom Schellack abgestoßene aber

wird durch das Glas angezogen. Die Elektricität des geriebenen Glases ist also nicht identisch mit der des Harzes, weil jede das anzieht, was die andere abstößt.

Die beiden Elektricitäten hat man mit dem Namen der Glaselektricität und der Harzelektricität bezeichnet. Die Glaselektricität wird auch die positive, die Harzelektricität die negative genannt. Die Entdeckung der beiden verschiedenen Elektricitäten wurde von Dufay im Jahre 1773 gemacht.

Von den elektrischen Flüssigkeiten und dem natürlichen Zustande der Körper. 31 Wegen der Schnelligkeit, mit welcher sich die Elektricität in den Leitern verbreitet, hat man geschlossen, daß sie eine äußerst bewegliche Flüssigkeit sey, und aus dem Gegensatze der Glas- und Harzelektricität schloß man ferner, daß es zwei solcher Flüssigkeiten gebe, wie es zwei magnetische Fluida giebt. Wenn diese beiden Flüssigkeiten in einem Körper verbunden sind, wenn sie sich in demselben gegenseitig neutralisiren, so ist er in seinem natürlichen Zustande. Wenn in einem Körper aber die beiden E zersetzt werden, so wird er elektrisch, und zwar positiv, wenn die Glaselektricität, negativ, wenn die Harzelektricität vorherrscht. Zwischen den elektrischen und magnetischen Flüssigkeiten findet jedoch ein wesentlicher Unterschied Statt; diese ist in den magnetischen Partikeln gleichsam eingeschlossen, sie kann aus denselben nicht heraustreten, während die elektrischen Fluida frei von einem Körper zum andern übergehen können.

Wenn durch Reiben in einem Körper $+E$ frei gemacht wird, so muß in gleichem Maaße auch $-E$ entwickelt werden. Man kann dies durch einen einfachen Versuch nachweisen. Wenn man irgend zwei Scheiben von verschiedenen Substanzen, deren jede durch einen Glasstab isolirt ist, an einander reibt, so zeigen sie, so lange sie auf einander liegen, keine Spur von Elektricität; sobald man sie aber trennt, ist die eine positiv, die andere ebenso stark negativ elektrisch. Besonders geeignet für diesen Versuch ist es, wenn die eine Scheibe von Glas, die andere aber etwa von Holz und mit einer Lederscheibe überzogen ist, die man mit etwas Amalgam bestrichen hat. Man kann aber auch Scheiben von jeder andern Substanz, Harz, Metall u. s. w. nehmen, und um die Versuche mehr abzuändern, dieselben mit verschiedenen Stoffen, Tuch, Seide, Papier u. s. w. überziehen.

Fig. 51.

Da ein Körper in seinem natürlichen Zustande die beiden E in gleichem Maaße enthält, so giebt es keinen Grund, anzunehmen, daß er besonders geeignet sey, vorzugsweise die eine aufzunehmen und zurückzuhalten, er kann also auch durch Reiben bald $+$, bald $-$ elektrisch werden, je nachdem man ein anderes Reibzeug wählt. Glas z. B. wird, mit Wolle oder Seide gerie-

ben, positiv, mit einem Katzenpelz gerieben, negativ elektrisch. Um die Flüssigkeiten genau zu bezeichnen, muß man also sagen: die $+E$ ist diejenige, welche das Glas durch Reiben mit Wolle oder Seide annimmt, die $-E$ hingegen diejenige, welche das Harz annimmt, wenn man es mit einem Katzenfelle, mit Wolle oder Seide reibt.

Nehmen wir an, man habe eine Liste verschiedener Körper in der Weise aufgestellt, daß jeder vorangehende, mit allen folgenden gerieben, + elektrisch wird, so wird man bald bemerken, daß die geringste Veränderung der Umstände diese Reihenfolge ändert. Eine Veränderung der Temperatur z. B. kann machen, daß ein Körper in dieser Reihe mehr hinauf oder herunter zu rücken ist. Dieselbe Wirkung hat es oft, wenn man einen Körper mehr polirt oder seine Oberfläche rauher macht. Die Farbe, die Anordnung der Moleküle oder der Fasern, selbst ein mehr oder weniger starker Druck kann analoge Erscheinungen hervorbringen. Ein schwarzes seidenes Band z. B. wird, mit einem weißen seidenen Bande gerieben, immer negativ elektrisch. Selbst wenn man zwei Stücke desselben Bandes kreuzweise reibt, so wird dasjenige, welches festgehalten ist, positiv, das andere negativ elektrisch. Wenn man eine polirte Glasscheibe auf einer mattgeschliffenen reibt, so werden sie ebenfalls entgegengesetzt elektrisch u. s. w.

32 **Mittheilung der Elektricität.** Die freie Elektricität kann sowohl bei unmittelbarer Berührung, als auch auf größere Entfernungen hin von einem Körper zum andern übergehen, immer hängt aber die Mittheilung von der Leitfähigkeit der Körper und der Größe ihrer Oberfläche ab.

Bei der Berührung mit einem elektrisirten Körper nehmen schlechte Leiter die Elektricität nur unmittelbar an der berührenden Stelle auf, sie verbreitet sich nicht über ihre ganze Ausdehnung. Wenn man umgekehrt einen elektrisirten Isolator an einer Stelle berührt, so verliert er nur unmittelbar hier etwas Elektricität, die ganze nicht berührte Oberfläche bleibt nach wie vor elektrisch. Es läßt sich dies sehr leicht mit einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange zeigen. Bei guten Leitern verhält sich die Sache ganz anders. An einem Punkte, mit einem elektrischen Körper berührt, verbreitet sich die übergegangene Elektricität über den ganzen Leiter, und wenn man einen isolirten elektrisirten Leiter mit dem Boden in leitende Verbindung bringt, so verliert er augenblicklich alle seine Elektricität.

Auch ohne unmittelbare Berührung kann die Elektricität von einem Körper zum andern übergehen, und man beobachtet dabei das merkwürdige Phänomen des elektrischen Funkens. Wenn man einem geriebenen Glas- oder Schellackstab einen Metallstab oder den Knöchel eines Fingers nähert, so sieht man einen lebhaft glänzenden Funken überspringen und hört dabei ein knisterndes Geräusch. Wenn der elektrisirte Körper ein isolirtes Metall von bedeutender Oberfläche ist, wie der Conductor der Elektrisirma-

schine, so werden die Funken stärker, sie springen unter Umständen schon in einer Entfernung von 12 Zoll über; ihr Licht ist dann blendend hell, und das Geräusch, welches sie begleitet, sehr stark.

Otto von Guericke, der Erfinder der Luftpumpe, hat zuerst den elektrischen Funken beobachtet. Später zeigte Dufay zur allgemeinen Verwunderung, daß man selbst aus dem menschlichen Körper, wie aus dem Conductor der Maschine, Funken entlocken könne.

Um den Versuch zu machen, stellt man sich auf einen Harzkuchen oder auf einen mit Glasfüßen versehenen Schemel (Isolirschemel) und bringt den Körper mit dem Conductor der Maschine in leitende Verbindung. Wenn die Maschine gedreht wird, gewahrt man auf der Haut, namentlich im Gesichte, ein eigenthümliches Gefühl, ungefähr wie wenn man in Spinnengewebe gerathen wäre. Die Haare auf dem Kopfe sträuben sich. Wenn sich dem so elektrisirten menschlichen Körper ein nichtisolirter Leiter, etwa eine andere Person, mit dem Knöchel der Hand nähert, so springt ein Funken über, der für das Gefühl um so empfindlicher ist, auf je größere Entfernung er überspringt.

Wenn die Elektricität von einem isolirten Leiter auf einen andern übergeht, so vertheilt sie sich stets nach dem Verhältnisse der Oberflächen; damit also ein isolirter Leiter alle seine Elektricität verliere, muß man ihn mit einem andern in Berührung bringen, dessen Oberfläche unverhältnißmäßig größer ist, also z. B. mit dem Fußboden, denn dadurch ist er mit der ganzen Erdoberfläche in Verbindung, auf welcher sich seine Elektricität spurlos verliert, eben weil sie sich über eine so ungeheure Fläche gleichmäßig vertheilt. Wenn man eine isolirte elektrisirte Metallkugel mit einer andern gleich großen, gleichfalls isolirten, aber nicht elektrischen in Berührung bringt, so wird erstere gerade die Hälfte ihrer E verlieren. Wenn man dem Conductor der Elektrisirmaschine eine isolirte Metallkugel nähert, so schlagen nur schwache Funken über, während man mit einem nicht isolirten Leiter dem Conductor sehr kräftige Funken entlocken kann.

Fig. 52.

Eine eben ausgelöschte Kerze kann durch den elektrischen Funken wieder angezündet werden. Ebenso kann man Aether und Alkohol durch den elektrischen Funken anzünden; um dies zu bewirken, gießt man die Flüssigkeit in ein Metallgefäß und nähert ihrer Oberfläche den elektrisirten Körper, von welchem der Funken überspringen soll.

Die elektrische Pistole ist Fig. 52 dargestellt. Es ist ein kleines Metallgefäß, welches durch einen Korkstopfen verschlossen ist. Ein Metalldraht, welcher mit zwei kleinen Kugeln b und b' endigt, reicht in das Gefäß hinein,

ohne mit der Wand in leitender Berührung zu stehen. Um dies zu bewirken, ist der Draht durch Siegellack in eine Glasröhre $l\,l'$ und diese in eine Oeffnung der Seitenwand eingekittet. Der elektrische Funke, welcher durch diesen Draht geleitet wird, schlägt von der Kugel b' auf die gegenüberstehende Wand über. Wenn nun das Gefäß mit einem explodirenden Gase, etwa einer Mischung von Wasserstoff und atmosphärischer Luft, gefüllt ist, so bewirkt der Funke die Entzündung, der Stopfen wird unter lautem Knalle fortgeschleudert.

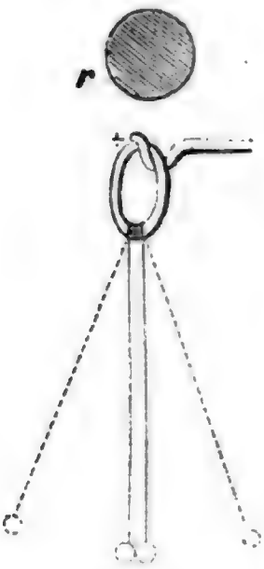
Fig. 53.

Zweites Kapitel.

Elektricität durch Vertheilung.

33 Wir haben gesehen, daß jede der elektrischen Flüssigkeiten die gleichnamige abstößt und die ungleichnamige anzieht. Diese Anziehung und Abstoßung äußert sich aber nicht allein auf die schon zersetzten Flüssigkeiten, sondern auch auf die noch verbundenen, und daher kommt es, daß die verbundenen Elektricitäten eines Körpers, der sich im natürlichen Zustande befindet, durch die Annäherung eines elektrischen Körpers vertheilt werden.

Fig. 54.



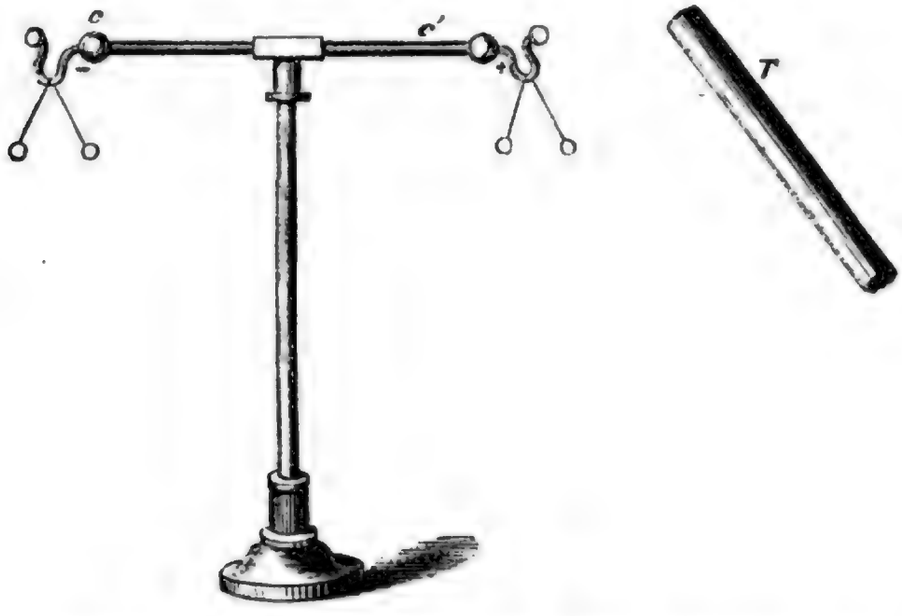
An einem isolirenden Haken sey ein Ring von Metall angehängt, in welchem zwei ganz feine Metallfäden befestigt sind, die runde Kügelchen von Hollundermark tragen. Bei Annäherung eines elektrischen Körpers r fahren die Kügelchen alsbald aus einander, selbst wenn r noch ziemlich weit entfernt ist, ohne daß ein Funken überspringt. Die Divergenz wächst, je mehr man r nähert. Daß dies nicht die Wirkung von übergegangener Elektricität ist, geht daraus hervor, daß die Pendel augenblicklich zusammenfallen, sobald man r entfernt. Die Elektricitäten, welche in dem Metallringe und den Pendeln vor der Annäherung von r verbunden waren, sind getrennt worden, diejenige E, welche mit der in r gleichnamig ist, wird nach den Kugeln abgestoßen, die ungleichnamige nach dem Ringe hinaufgezogen. Der genäherte elektrische Körper r sey eine geriebene Harzstange, also — elektrisch, so wird der Ring + elektrisch, die Kügelchen — elektrisch seyn.

Daß die Elektricitäten wirklich auf dieſe Weiſe vertheilt ſind, läßt ſich durch ein Probeſcheibchen nachweiſen. Ein Probeſcheibchen iſt ein Scheibchen von Rauſchgold oder Goldpapier von 1 bis 2 Centimeter Durchmeſſer, welches an einem langen Stäbchen von Schellack oder einem überfirnißten ganz dünnen Glasſtäbchen befeſtigt iſt. Berührt man mit dieſem Scheibchen den Ring, während der negativ elektriſche Körper *r* ſich in ſolcher Nähe befindet, daß die Pendel divergiren, ſo wird ſich das Probeſcheibchen mit der Elektricität des Ringes laden, und welche Elektricität dies ſey, erfährt man, wenn man es einem einfachen elektriſchen Pendel nähert, welchem man ſchon zuvor Elektricität mitgetheilt hat. Geſetzt, man habe das einfache elektriſche Pendel durch Berührung mit einer Glasſtange + elektriſch gemacht, ſo wird es in unſerm Falle von dem Probeſcheibchen abgeſtoßen, weil dieſes, wie der Ring, ebenfalls + elektriſch iſt.

Fig. 55.

Der Verſuch läßt ſich auch noch in folgender Weiſe anſtellen. An jedem der hakenförmig gebogenen Enden eines auf einem iſolirenden Glasfuße befeſtigten Metallſtabes ſey ein Pendelpaar aufgehängt, deſſen Fäden leitend ſeyn müſſen, wozu man ganz dünne Metallfäden oder Leinenfäden nehmen kann. Sobald man einen elektriſchen Körper

Fig. 56.

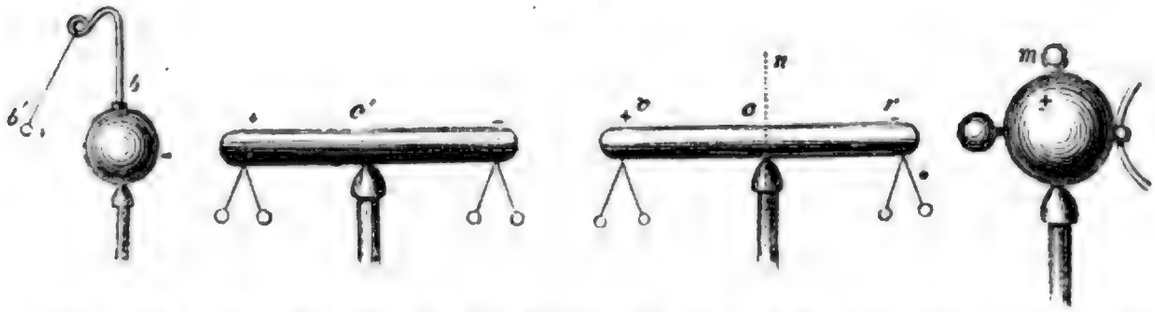


r nähert, divergiren beide Pendelpaare, die Kugeln des einen aber ſind mit poſitiver, die des andern mit negativer Elektricität geladen. Sobald man *r* entfernt, fallen die Pendel wieder zuſammen, weil ſich die getrennten Elektricitäten ſogleich wieder verbinden.

Ein durch Vertheilung elektriſirter Körper wirkt ſeinerſeits auch wieder vertheilend auf andere, die ihm hinlänglich genähert werden, die ſich alſo in

seiner Wirkungssphäre befinden, und diese Wirkungen können sich auf ziemliche Entfernungen fortpflanzen. Man braucht nur einen Blick auf die Fig. 57 zu werfen, um zu sehen, welche Anordnung man etwa treffen kann,

Fig. 57.



um dies durch den Versuch nachzuweisen; m ist der Conductor einer Elektrisirmaschine, c ein isolirter Metallcylinder, c' ein zweiter, b eine Metallkugel und b' ein Hollundermarkkügelchen.

Wenn man einen isolirten Leiter, welcher durch Vertheilung elektrisch gemacht ist, mit dem Boden in leitende Verbindung bringt, während der elektrische Körper durch seine Nähe noch vertheilend wirkt, so wird alle abgestoßene Elektricität in den Boden abgeführt, und der isolirte Leiter ist nur noch mit der Elektricität geladen, welche vom vertheilenden Körper r angezogen wird. Wenn man alsdann die leitende Verbindung mit dem Boden wieder aufhebt und dann r entfernt, so ist nun der isolirte Leiter geladen, und zwar seiner ganzen Ausdehnung nach mit derselben Elektricität.

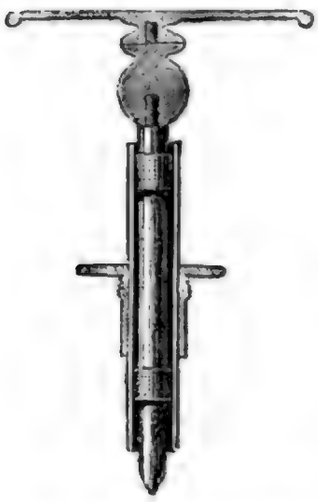
Der Apparat Fig. 54, in eine zweckmäßigere Form gebracht, giebt ein treffliches Elektroskop ab. Man hat vor Allem dafür zu sorgen, daß die Pendel sich in einem Glasgefäße befinden, damit äußere Einflüsse, wie Luftströmungen u. s. w., nicht störend einwirken, und dann muß das leitende System sorgfältig isolirt seyn. Die Pendel können aus Strohhalmen, Hollundermarkkügelchen, die an feinen Metallfäden hängen, oder Metallblättchen bestehen. Ganz besonders sind die im Folgenden näher beschriebenen, nach Buff's Angabe construirten Elektrometer als zweckmäßig zu empfehlen.

Fig. 58.

Ein Messingstab, welcher, mit einer isolirenden Schicht umgeben, in den Hals eines Glasgefäßes eingelassen ist, hat oben eine Schraube, auf welche man nach Belieben eine Messingkugel oder eine Metallplatte aufschrauben kann. Am untern Ende sind am Stabe zwei Blättchen Rauschgold befestigt. Damit man die Einrichtung deutlicher sehen könne, ist dieser Stab mit seinem Isolirungssysteme Fig. 59 (a. f. S.) in $\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe dargestellt. Er ist nämlich an zwei Stellen mit Seide umwickelt und in eine Glasröhre gesteckt, welche innen und außen mit einer

dünnen Schicht von Schellack überzogen ist. Auf diese Weise ist das Metall durch eine Luftschicht und an zwei Stellen durch Seide von dem ebenfalls nicht leitenden Rohre getrennt. Die Seidenumwickelung ist so dick, daß man den Metallstab in der Röhre mit einiger Reibung nach Belieben etwas auf- und niederschieben kann.

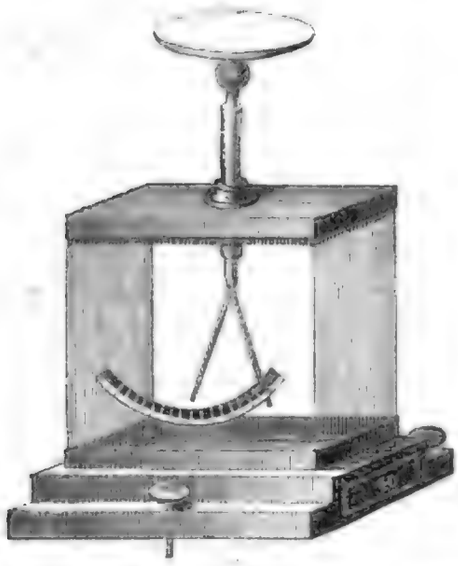
Fig. 59.



Diese Elektrometer sind weniger geeignet, schwache Elektricitäten sichtbar zu machen, als vielmehr Versuche über die Gesetze der Elektricität anzustellen, wo man hinlänglich starke Elektricitäten anwenden kann. Für manche dieser Versuche ist es zu empfehlen, zwei ganz gleiche Apparate dieser Art zu haben.

Ein empfindlicheres Elektroskop, welches nach denselben Principien construirt ist und auch als Elektrometer dienen kann, ist Fig. 60 in $\frac{1}{6}$ der natürlichen Größe dargestellt. Der abgeschlossene Raum, in welchem die Pendel hängen, ist durch Platten von Spiegelglas gebildet, welche an den Kanten luftdicht verkittet sind. Unter dem Boden dieses Raumes, welcher in der Mitte eine Oeffnung hat, kann von der Seite eine Schieblade eingeschoben werden, welche möglichst dicht schließen muß, und in welcher einige Stücke Chlorcalcium liegen, durch welche die Luft im Apparate trocken erhalten wird. Die Pendel bestehen aus Goldblättchen; im übrigen ist der Apparat wie der vorige construirt.

Fig. 60.



Das Strohhalmelektrometer wurde von Volta, das Goldblattelektrometer von Bennet zuerst angegeben.

Der durch Fig. 54 dargestellte Versuch kann auch mit den eben beschriebenen Elektroskopen angestellt werden. Wenn man von oben einen elektrischen Körper, etwa eine geriebene Glasstange, nähert, so divergiren die Pendel; die Natur der Elektricität, welche in der obern Platte angesammelt ist, kann man durch Probescheibchen ermitteln, sie ist die entgegengesetzte von derjenigen des genäherten Körpers *r*.

Wenn man untersuchen will, von welcher Natur die Elektricität irgend eines Körpers sey, so muß das Elektroskop schon im Voraus mit einer

bekannten Elektricität geladen werden; dies geschieht, indem man einen Körper r von bekannter Elektricität nähert und die Platte mit dem Finger berührt. Dadurch wird alle abgestoßene Elektricität abgeleitet, und im Apparate bleibt nur die angezogene, welche auf der Platte angehäuft ist. Sie ist hier gewissermaßen gebunden, d. h. sie kann sich nicht entfernen, weil sie durch r angezogen wird, deshalb divergiren die Blättchen nicht; sobald man aber erst den Finger und dann den Körper r entfernt, divergiren die Pendel, weil nun die Elektricität, welche durch den Körper r in die Platte gebunden worden war, sich frei über das ganze isolirte System, also auch über die Blättchen verbreitet. Die Elektricität, mit welcher auf diese Weise das Elektroskop geladen wird, ist natürlich die entgegengesetzte des Körpers r; wenn man also eine negative Ladung bezweckt, so kann man eine mit Seide geriebene Glasstange anwenden, indem diese positiv elektrisch ist.

Fig. 61.

Nähert man dem so geladenen Elektroskop einen elektrischen Körper, so wird dadurch die Divergenz der Pendel entweder vergrößert oder verkleinert werden. Sie wird vergrößert, wenn die E des zu untersuchenden Körpers mit derjenigen gleichnamig ist, welche man dem Apparate mitgetheilt hatte, denn durch seine Annäherung werden die Elektricitäten des Elektroskops noch vollständiger zersetzt als es schon vorher der Fall war, es wird noch mehr von der Elektricität, welche schon in den Pendeln war, in dieselben heruntergetrieben, ihre Divergenz muß also zunehmen.

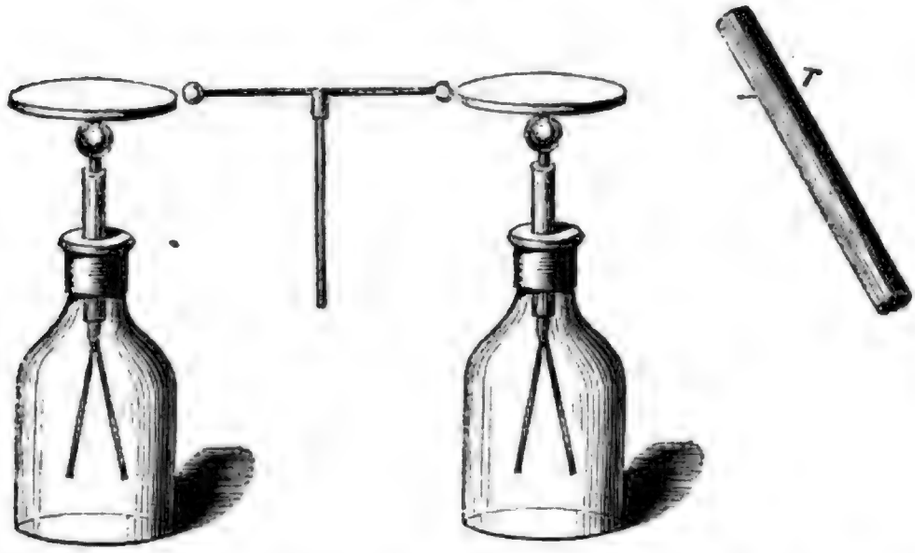
Wenn der genäherte Körper mit derjenigen E ungleichnamig ist, welche man dem Elektroskope mitgetheilt hatte, so nimmt die Divergenz ab, weil die Elektricität jetzt aus dem Pendel weg und in die Platte gezogen wird. Wenn man den Apparat mit irgend einer E geladen hat, so befinden sich doch noch unzersetzte Elektricitäten im Apparate, die durch den genäherten Körper zersetzt werden; ist nun die E des genäherten Körpers mit der im Elektroskope vorhandenen ungleichnamig, so wird die schon vorhandene in die Platte gezogen, die andere in die Pendel getrieben, die Divergenz muß also abnehmen. Bei einer bestimmten Entfernung des genäherten Körpers werden sich die Elektricitäten in den Pendeln gerade neutralisiren, die Pendel werden vollständig zusammenfallen. Wenn man den zu prüfenden Körper noch mehr nähert, so divergiren die Pendel von Neuem, aber nun mit der entgegengesetzten von der E, welche sie vorher divergiren machte.

Wenn man einem geladenen Elektroskope einen nicht elektrischen Leiter

nähert, so nimmt die Divergenz der Pendel ebenfalls ab. Es ergiebt sich dies leicht als nothwendige Folge der Gesetze der elektrischen Vertheilung.

Wenn man zwei gleiche Elektroskope durch einen isolirten Leiter verbindet und dem einen einen elektrischen Körper r nähert, so divergiren die Pendel

Fig. 62.



in beiden, und zwar im einen mit $+$, im andern mit $-E$. Nimmt man nun den verbindenden Leiter weg (begreiflicher Weise muß man ihn dabei an dem isolirenden Griffe anfassen), so können die Pendel nicht wieder zusammenfallen, wenn man auch den Körper r wieder entfernt, welcher die Vertheilung bewirkte, weil die getrennten Elektricitäten keinen Weg haben, auf welchem sie wieder zu einander übergehen könnten. Daß die Elektricitäten in beiden Apparaten entgegengesetzter Natur sind, kann man daraus erkennen, daß, wenn man einen und denselben elektrischen Körper bald dem einen, bald dem andern Elektroskope nähert, in dem einen die Divergenz zunimmt, während im andern die Pendel zusammenfallen.

Die oben beschriebenen Anziehungserscheinungen finden durch die Gesetze der elektrischen Vertheilung nun auch ihre Erklärung. Wenn einem Körper, der sich im natürlichen Zustande befindet, ein elektrischer genähert wird, so werden seine Elektricitäten zerlegt. Dies ist nun auch bei dem Korkkügelchen des einfachen elektrischen Pendels der Fall. Ist es an einem Seidenfaden aufgehängt, so kann die abgestoßene E nicht aus dem Kügelchen entweichen, sie wird auf die hintere Seite des Kügelchens getrieben, während sich die angezogene auf der Vorderseite anhäuft. Weil aber die angezogene E dem Körper, von welchem die Wirkung ausgeht, näher ist, so ist die Anziehung stärker als die Abstoßung; die Kraft, welche das Kügelchen gegen den elektrischen Körper hintreibt, ist der Differenz dieser beiden entgegengesetzten Kräfte gleich, darum wird auch hier erst bei sehr geringer Entfernung des elektrischen Körpers eine Anziehung erfolgen. Weit energischer ist die Wir-

kung, wenn das Kügelchen an einem leitenden Faden aufgehängt ist, weil alsdann die abgestoßene E entweichen kann und durch sie die Anziehung nicht geschwächt wird.

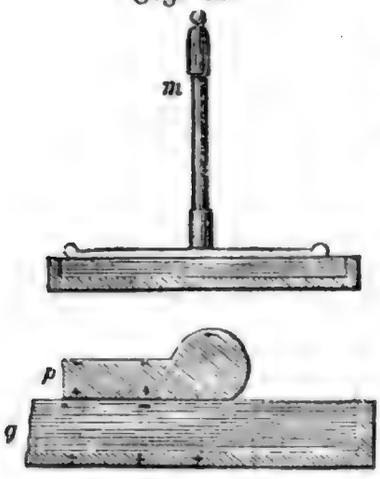
Ein Kügelchen von Schellack wird bei Annäherung eines elektrischen Körpers nicht angezogen, weil der genäherte Körper nur sehr schwere Vertheilung in demselben hervorbringen kann. Es ist dies eine Erscheinung, welche der ganz analog ist, daß ein Magnet in einem Stück weichen Eisen eine magnetische Vertheilung hervorbringt, in einem Stück Stahl aber ungleich schwieriger.

34 **Dualisten und Unitarier.** Die Anhänger der bisher entwickelten Theorie, nach welcher es zwei verschiedene elektrische Fluida giebt, an deren Spitze Symmer steht, werden mit dem Namen der Dualisten bezeichnet, im Gegensatze zu den Unitariern, welche nach Franklin und Aepinus nur ein elektrisches Fluidum annehmen. Von diesem Fluidum muß in jedem Körper eine bestimmte Menge enthalten seyn, wenn er sich im gewöhnlichen Zustande befindet. Ein Ueberschuß dieses Fluidums bedingt den positiv elektrischen, ein Mangel den negativ elektrischen Zustand; die einzelnen Theilchen dieser elektrischen Flüssigkeit stoßen sich einander ab, die Körpertheilchen aber ziehen sich an. Diese Theorie erklärt allerdings die Erscheinungen der elektrischen Vertheilung und die gegenseitige Abstoßung positiv elektrischer Körper ganz gut, zur Erklärung der gegenseitigen Abstoßung negativ elektrischer Körper muß sie aber die höchst unwahrscheinliche Hilfshypothese zur Hand nehmen, daß die aller elektrischen Flüssigkeit beraubten Körpertheilchen sich einander gleichfalls abstoßen. Der Schwierigkeiten wegen, auf welche man bei der Erklärung mancher elektrischen Erscheinungen nach der Theorie der Unitarier stößt, ist sie gegenwärtig wohl fast von allen Physikern verlassen, indem sie sich der Dualistischen Ansicht zugewendet haben.

Vor mehreren Jahren hat auch Faraday die Grundzüge einer neuen Theorie der elektrischen Erscheinungen bekannt gemacht, nach welcher die Elektricität keine Wirkung in die Ferne ausüben soll; die vertheilende Wirkung, welche ein elektrischer Körper durch isolirende Körper hindurch ausübt, erklärt er durch einen polaren Zustand der Theilchen der die Leiter trennenden nichtleitenden Substanzen. Faraday, welcher sonst um die Elektricitätslehre so große Verdienste hat, entwickelt seine Ansicht ebenso weitläufig als unklar. Was aber besonders zur Verwirrung der Begriffe beiträgt, ist der Umstand, daß er eine Menge Versuche beschreibt, deren Resultat sich nach den bisherigen Ansichten voraussehen ließ, während er sie doch als Argumente gegen dieselben anführt. Da Faraday's neue Theorie in ihrer jetzigen Form wenigstens noch nicht im Stande ist, eine so klare Uebersicht der elektrischen Erscheinungen zu geben, wie die bisher entwickelte, so kann hier wohl eine nähere Besprechung derselben unterbleiben.

Das Elektrophor ist einer der wichtigsten elektrischen Apparate und 35
kann in vielen Fällen selbst die Elektrisirmaschine ersetzen. Es ist von Wilke erfunden und von Volta verbessert worden. Es besteht aus einem Harzkuchen, welcher, wie Fig. 63 zeigt, in eine metallene Form, gleichsam einen Teller von Metall, gegossen ist, oder auch aus einem Harzkuchen, den man nur auf eine etwas größere Platte von Metall auflegt. Es ist sehr wesentlich, daß die Oberfläche des Harzkuchens möglichst eben sey. Auf diesen Harzkuchen, dessen Oberfläche durch Schlagen mit einem Fuchsschwanze oder einem Katzenpelze negativ elektrisch gemacht wird, setzt man einen mit einer isolirenden Handhabe *m* versehenen Deckel von Metall platt auf. Die — *E* des Harzkuchens wirkt vertheilend auf die bis dahin noch verbundenen Elektricitäten im Deckel, die + *E* wird angezogen, die — *E* aber abgestoßen, die + *E* wird sich deshalb im untern, die — *E* im obern Theile des Deckels anhäufen. Nähert man dem Deckel den Knöchel eines Fingers, so springt ein Funken über, und wenn man den Deckel mit dem Finger berührt, so wird alle — *E* sich entfernen und der Deckel sich nur mit + *E* laden, die aber durch die — *E* des Harzkuchens gebunden ist, so lange der Deckel auf demselben liegen bleibt. Hebt man aber den Deckel von dem Kuchen ab, indem man ihn an der isolirenden Handhabe anfaßt, so wird diese + *E* frei, und man kann nun aus dem Deckel einen Funken positiver Elektricität ziehen.

Fig. 63.



Wenn der Harzkuchen frei auf eine Metallplatte aufgelegt ist, so hat man weniger zu fürchten, daß der Kuchen bei eintretendem Temperaturwechsel springt, was wegen der ungleichen Ausdehnung des Metalls und des Harzes bei eingegossenen Kuchen leicht der Fall ist. Die beste Masse für ein Elektrophor ist Schellack, mit etwas venetianischem Terpentin versetzt.

Für die Metallplatte, auf welche man den Harzkuchen legt, kann man eine Zinkplatte nehmen. Der Deckel ist in der Regel von Messing und mit einem abgerundeten Rande versehen. Man kann jedoch auch Deckel von Glas, Holz oder Pappe anwenden, die mit Staniol überzogen sind; nur muß dafür gesorgt seyn, daß die untere Fläche, welche auf den Harzkuchen zu liegen kommt, wie dieser selbst, möglichst eben sey. Statt der isolirenden Handhabe von Glas kann man an dem Deckel auch drei Schnüre von Seide befestigen.

Wir haben oben nun gezeigt, wie es kommt, daß dem Deckel des Elektrophors eine Ladung positiver Elektricität ertheilt werden könne, ohne daß

die Rede davon war, welche Rolle die Form oder die untere Metallplatte dabei spielt. Wenn man den Harzkuchen auf eine isolirende Unterlage, etwa auf eine Glastafel, legte, so würde es nicht möglich seyn, so starke Ladungen zu erhalten, wie es der Fall ist, wenn der Kuchen eine leitende Unterlage hat. Durch das Schlagen mit dem Pelze kann nämlich nur so lange Elektricität entwickelt werden, bis eine gewisse Gränze der Ladung des Kuchens erreicht ist, über welche Gränze hinaus jede neu entwickelte — E des Kuchens sogleich wieder zu ihrem Gegensatze in Pelz übergehen würde. Wenn aber der Harzkuchen auf einer leitenden Unterlage liegt, so wirkt die — E des Kuchens vertheilend auf dieselbe, die — E der Form wird abgestoßen, die + E angezogen. Die + E der Form aber zieht auch die — E des Kuchens an und trägt dazu bei, dieselbe auf dem Kuchen zurückzuhalten. Wenn man einen Harzkuchen, der während des Schlagens mit Pelz auf einer leitenden Unterlage gelegen, aufhebt, so wird nun auf einmal alle E frei, welche durch den Einfluß der Unterlage auf dem Harze zurückgehalten war; man kann demselben zahlreiche kräftige Funken entziehen, welche während des Aufliegens nicht übersprangen.

Die Gesetze des Elektrophors lassen sich sehr wohl mit Hülfe des oben beschriebenen Elektroskops Fig. 58 nachweisen. Man lege auf die Platte des Elektroskops eine Scheibe von Schellack, deren Durchmesser noch etwas größer ist als der Durchmesser der Metallplatte. Wenn, wie es seyn muß, die Schellackscheibe ganz unelektrisch ist, so werden natürlich die Pendel nicht divergiren, sobald man aber die obere Harzfläche mit einem Katzenpelze schlägt, divergiren die Pendel, und zwar mit — E, weil durch die — E auf der Oberfläche des Schellacks die + E des Apparats in der Metallplatte gebunden, die — E aber abgestoßen wird. Sobald man nun die Metallplatte des Elektroskops unten mit dem Finger berührt, wird die abgestoßene — E abgeleitet, die Pendel fallen zusammen, in der Metallplatte bleibt aber + E gebunden, was man daraus erkennt, daß die Pendel mit + E divergiren, sobald man die Schellackplatte abhebt, sogleich aber auch wieder zusammenfallen, wenn man sie wieder auflegt.

Die eben beschriebene Anordnung stellt uns ein vollständiges Elektrophor dar, die Schellackscheibe ist der Harzkuchen, die Platte des Elektroskops ist die Form. Bei dieser Form des Versuchs ist es nun, wie wir gesehen haben, leicht, jederzeit den elektrischen Zustand der Form nachzuweisen.

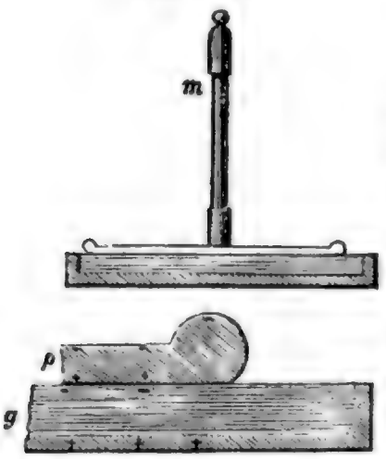
Sobald man auf die obere Fläche der Schellackscheibe eine, durch eine Glasstange isolirte Metallscheibe, welche der Platte des Elektroskops ganz gleich ist und dem Deckel des Elektrophors entspricht, aufsetzt und mit dem Finger berührt, verändern sich die Umstände. In dem Moment, in welchem man aus der oberen Deckelplatte die — E ableitet, so daß sie nur noch + E enthält, wird die — E des Harzkuchens durch die + E im

Deckel vollständig beschäftigt, sie kann nicht mehr, wie früher, bindend auf die + *E* der untern Platte wirken, welche ja weiter von der geriebenen Oberfläche entfernt ist. In dem Augenblicke, in welchem man die obere Platte mit dem Finger berührt, werden deshalb die Pendel des Elektroskops divergiren, und zwar mit der + *E*, welche bis dahin in der Platte des Elektroskops gebunden war.

Dies erklärt nun auch eine Erscheinung am Elektrophor, welche bisher noch nicht erwähnt wurde. Wenn man nämlich den Deckel gehörig aufgesetzt hat und gleichzeitig mit einem Finger den Deckel, mit einem andern die Form berührt, so erhält man einen Schlag oder Stoß, der weit heftiger ist, als wenn man nur den Deckel berührte. Es kommt dies daher, daß die — *E* des Deckels und die frei werdende + *E* der Form zu einander übergehen.

Die Fig. 64 zeigt, wie die Elektricitäten im Elektrophor vertheilt sind, wenn man den Deckel aufgesetzt und noch nicht mit dem Finger berührt hat.

Fig. 64.



Während durch Schlagen mit dem Katzenpelze die obere Fläche des Harzkuchens negativ elektrisch wird, wird die untere Fläche positiv elektrisch, wenn die Platte nicht gar zu dick ist. Die + *E* der untern Fläche ist aber bei weitem nicht so stark entwickelt, wie die — *E* auf der obern, weshalb sich die + *E* der untern Fläche nicht nachweisen läßt, so lange die — *E* auf der andern Seite nicht vollständig beschäftigt ist. Es läßt sich dies wieder sehr gut mit der kleinen Schellackplatte und dem Elektroskope nachweisen. Man setze den Deckel auf die obere Fläche, bringe denselben mit der metallischen Unterlage der Schellackplatte in leitende Verbindung, so daß der Deckel mit + *E* geladen und die — *E* der obern Schellackfläche beschäftigt ist. Hebt man nun die Schellackplatte auf, jedoch so, daß der Deckel darauf sitzen bleibt, so läßt sich die + *E* der untern Schellackfläche nachweisen.

Da nach dem Berühren des Deckels die + *E* der untern Fläche des Schellacks wirksam werden kann, so ist eine natürliche Folge, daß nach dem Berühren des Deckels in der Form — *E* gebunden wird. Der Versuch bestätigt dies auch vollkommen, denn wenn man die Schellackplatte mit dem darauf liegenden Deckel von der Platte des Elektroskops abhebt, so divergiren alsbald die Pendel mit negativer Elektricität.

Die Elektrisirmaschine besteht aus einem reibenden Körper, einem Reibzeuge und einem isolirten Leiter. 36

Der reibende Körper ist gewöhnlich ein mit Pferdehaaren ausgestopftes

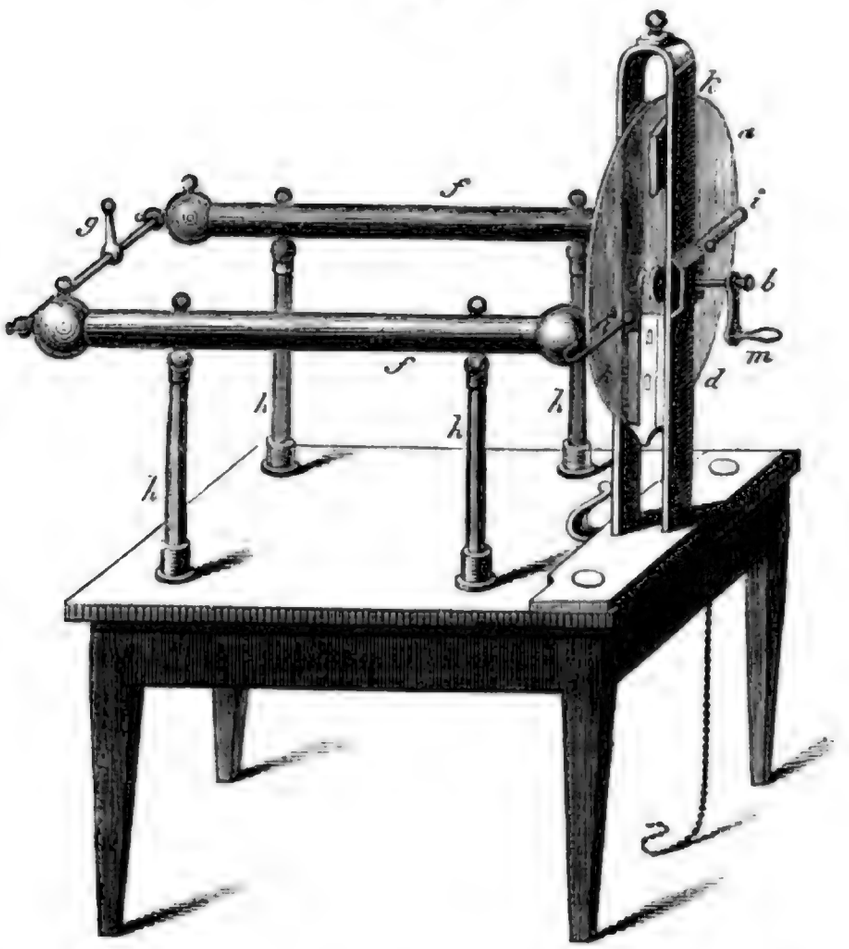
Kissen. Die reibende Fläche ist ein Leder, welches mit Amalgam überzogen ist.

Der geriebene Körper ist eine Glasscheibe oder ein Glascylinder.

Der isolirte Conductor ist in der Regel ein System von hohlen Cylindern aus Messingblech, an den Enden kugelförmig abgerundet und von gläsernen Säulen getragen, welche mit Schellackfirniß überzogen sind.

Man hat der Elektrisirmaschine mancherlei verschiedene Einrichtungen gegeben; eine der gewöhnlichsten ist die Fig. 65 abgebildete. Der Durch-

Fig. 65.



messer der Glasscheibe *a* variirt von 20 bis 60 Zoll. Sie ist in der Mitte durchbohrt, und durch die Oeffnung geht eine Axe mit der Kurbel *b*. Die Pfeiler *d* tragen zugleich die Scheibe und die beiden Paare von Kissen *e* und *e'*, welche die Scheibe vom Rande bis ungefähr auf $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{2}$ ihres Halbmessers reiben. Der Conductor *f g f'* ist durch die Säulen *h* isolirt und endigt mit zwei Backen *i*, welche am Ende des horizontalen Durchmessers der Scheibe um dieselbe herumgreifen.

In Fig. 66 und Fig. 67 sieht man die Einrichtung und Befestigungsweise der Kissen deutlicher.

Wenn man mittelst der Kurbel die Glasscheibe umdreht, so wird sie durch

Fig. 66.

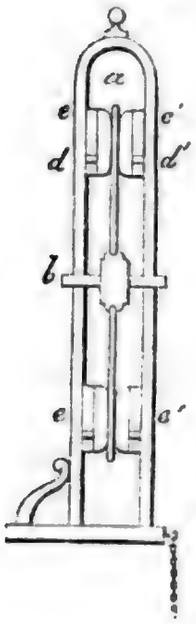
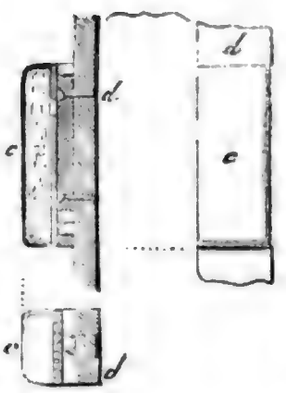


Fig. 67.



das Reiben an den mit Amalgam überzogenen Lederkiſſen + elektriſch. Nach einer Viertelumdrehung gelangt aber immer eine eben zwiſchen den Kiſſen hervortretende Stelle der Scheibe zu den Backen *i*. Die + *E* des Glaſes wirkt hier zerſetzend auf den Conductor, die — *E* wird angezogen und ſtrömt auf das Glas über, um es wieder in den gewöhnlichen Zuſtand zu verſetzen, d. h. ſeine + *E* mehr oder weniger vollſtändig zu neutraliſiren. Auf dem Conductor bleibt + *E* zurück.

Damit ſich auf dem Wege von dem Reibzeuge bis zu den Backen *i* die Elektricität des Glaſes nicht ſo leicht in die Luft verliere, iſt hier die Scheibe auf beiden Seiten mit Stücken von Wachstaffent behängt. Wenn die Maſchine kräftig wirken ſoll, ſo muß man unmittelbar vor dem Gebrauche die Glasfüße und die Scheibe mit warmen wollenen Lappen oder mit gewärmtem, recht trocknem Löſchpapier reiben.

Die — *E* des Reibzeuges ſtrömt in den Boden über, und es iſt in der That nöthig, daß ſie frei abfließt, denn wenn ſie auf dem Kiſſen bliebe, ſo würde ſie bald eine ſolche Spannung erreicht haben, daß ſie theilweiſe auf die Glasplatte überſtrömen und die poſitive Elektricität neutraliſiren würde. Die durch Reiben frei gewordenen Elektricitäten müſſen von der Stelle, wo ſie frei wurden, weggeführt werden, wenn an derſelben Stelle durch ferneres Reiben von Neuem Elektricität erregt werden ſoll.

Van Marum's Maſchine iſt Fig. 68 und Fig. 69 dargeſtellt. Sie unterſcheidet ſich von der vorigen hauptſächlich dadurch, daß man nach

Fig. 68.

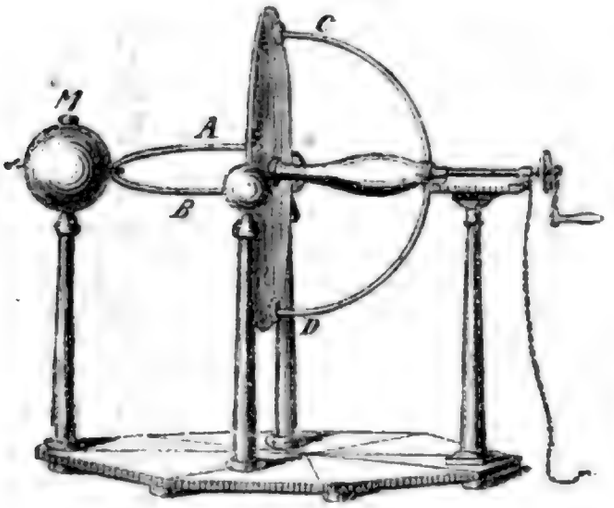
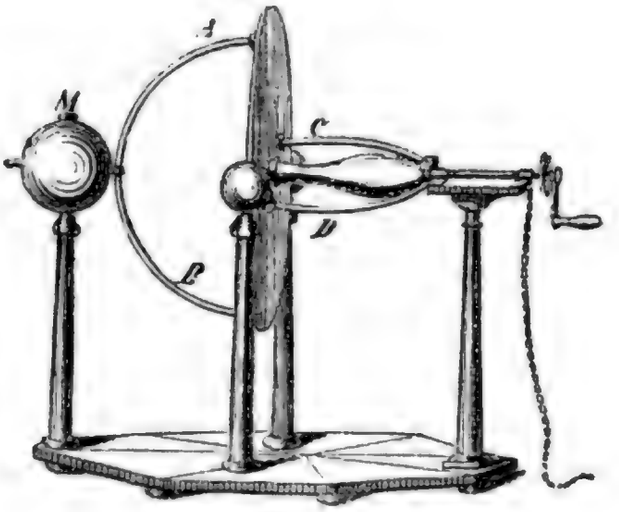


Fig. 69.



Belieben die positive oder die negative Elektricität, also die *E* der Glasscheibe oder des Reibzeugs sammeln kann. Die beiden Reibzeuge sind an den Enden des horizontalen Durchmessers der Scheibe angebracht und sind an zwei Hohlkugeln von Messingblech befestigt, die selbst auf isolirenden Glasfüßen stehen. Zwei bewegliche metallene Bogen *C D* und *A B* müssen stets in einer solchen Stellung zu einander stehen, daß die Ebene des einen Bogens mit der des andern einen rechten Winkel macht. In Fig. 71 steht der Bogen *A B* vertikal, *C D* aber wagerecht. Der Bogen *C D* ist mit den Reibzeugen in Berührung, und da er selbst durch eine Metallkette mit dem Boden in leitender Verbindung steht, so strömt die negative Elektricität des Reibzeugs ab, während der Conductor *M* durch den Bogen *A B* mit + *E* geladen wird. Wenn aber diese Bogen die Stellung Fig. 70 haben, so ist der Bogen *A B* mit dem Reibzeuge in Berührung, es wird also die — *E* dem Conductor *M* zugeführt, während jetzt die + *E* durch den Bogen *C D* abgeleitet wird.

Fig. 70.

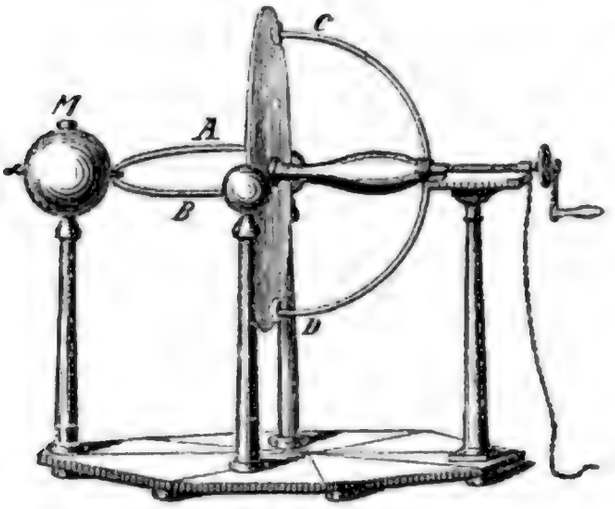
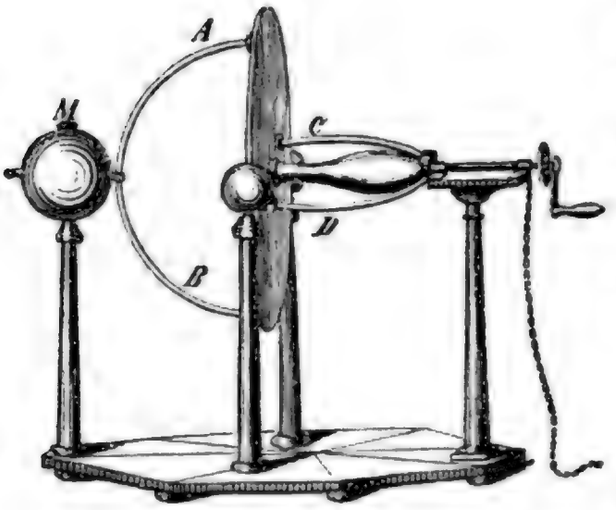


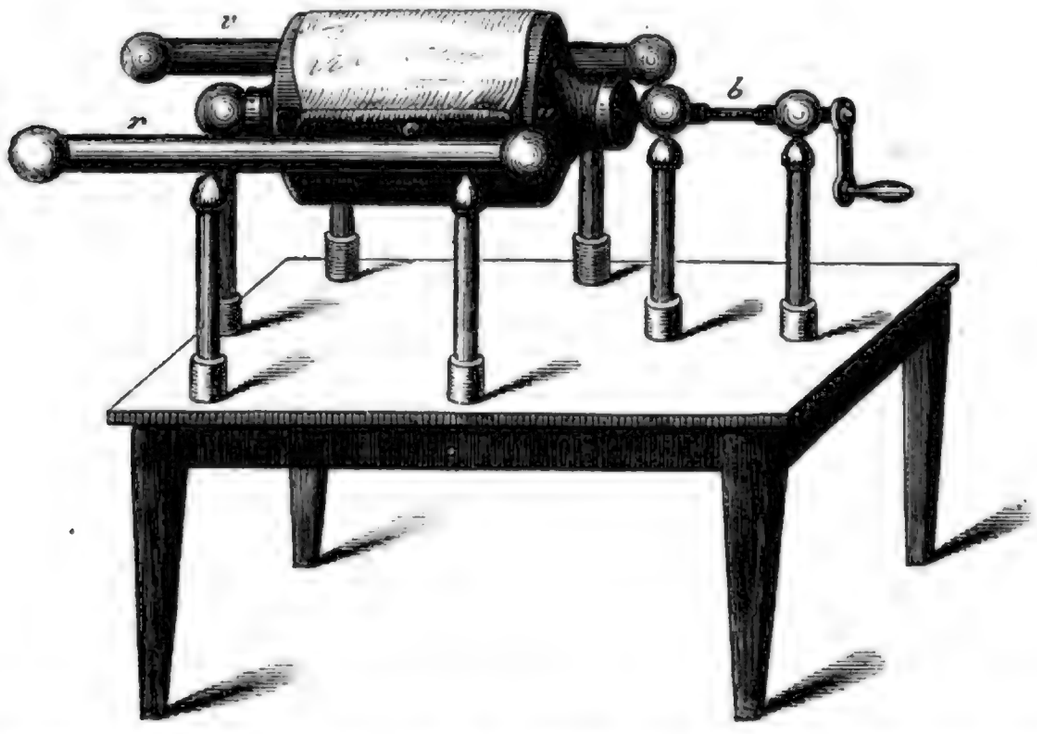
Fig. 71.



Nairne's Maschine ist Fig. 72 dargestellt. Sie ist ebenfalls so eingerichtet, daß sie beide Elektricitäten giebt, sie giebt aber beide gleichzeitig auf verschiedenen Conductoren *v* und *r*. Hier ist der geriebene Körper ein großer Glascylinder *a*, welcher um eine horizontale Axe *b* drehbar ist und in seiner ganzen Länge durch ein einziges Kissen *e* gerieben wird. Dieses Kissen ist mit dem einen Conductor *r* in Verbindung. Der Conductor *v* steht dem Kissen *e* diametral gegenüber und ist an der dem Cylinder zugekehrten Seite mit Spitzen besetzt. Damit das am Reibzeug *e* geriebene Glas auf dem Wege bis zum Conductor *v* seine Elektricität nicht verliert, ist die obere Hälfte des Cylinders mit einem Stücke Wachstaffent besetzt, welches

am Reibzeuge *e* befestigt ist. Der Conductor *v* ist natürlich mit + *E* geladen. Wenn man auf *v* eine starke Ladung von + *E* haben will, so

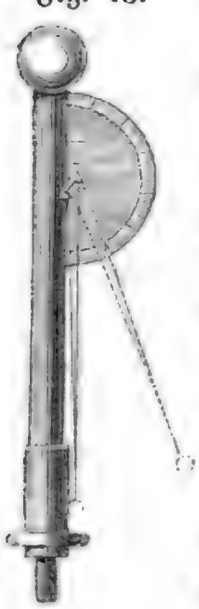
Fig. 72.



muß man den Conductor *r* mit dem Boden in leitende Verbindung setzen. Umgekehrt muß man dafür sorgen, daß die + *E* vom Conductor *v* frei abströmen kann, wenn man auf dem Conductor *r* eine starke negative Ladung beabsichtigt.

Um über den Grad der Ladung des Conductors einigermaßen ein Urtheil zu haben, setzt man das Henley'sche Quadrantenelektrometer, Fig. 73, auf denselben, dessen Einrichtung schon aus der Figur klar wird. Je stärker die Ladung wird, desto mehr wird der Kork oder das Korkkügelchen abgestoßen, desto mehr steigt es. An einem getheilten Halbkreise kann man sehen, um wieviel Grade sich das leichte Stäbchen, welches die kleine Kugel trägt, von seiner Gleichgewichtslage entfernt hat. Diese Gradzahl ist jedoch nicht der elektrischen Spannung auf dem Conductor proportional. Wenn man die Maschine zu drehen anfängt, steigt das Kügelchen rasch, bald aber erreicht es eine Stellung, welche es fast ganz unverändert beibehält, so lange man dreht. Es zeigt dies, daß ungeachtet der fortwährenden Elektricitätsentwicklung die Spannung auf dem Conductor incht mehr zunimmt. Der Grund davon liegt darin, daß, so gut man den Conductor auch isoliren mag, er doch fortwährend

Fig. 73.



Elektricität verliert. Dieser Verlust ist nun um so größer, je größer die Spannung der Elektricität ist; begreiflicher Weise wird bei fortgesetztem Drehen bald ein Zeitpunkt eintreten, wo die Spannung auf dem Conductor so groß ist, daß der elektrische Verlust in jedem Zeittheilchen gleich ist der Elektricitätsmenge, welche in derselben Zeit dem Conductor zugeführt wird.

Die Größe der möglichen Ladung eines Conductors hängt namentlich auch von der Witterung ab. Bei feuchter Witterung, wo der elektrische Verlust sehr bedeutend ist, kann man dem Conductor keine so starke Ladung ertheilen, wie bei trockenem Wetter, wie man dies namentlich sehr deutlich mit dem Quadrantenelektrometer zeigen kann.

37 **Dampfelektrisirmaschine.** Vor einigen Jahren machte der Engländer Armstrong eine eben so interessante als wichtige Entdeckung bekannt. Man hatte ihn benachrichtigt, daß in der Nähe von Newcastle beim Ausströmen des Dampfes aus einer Fuge in der Nähe des Sicherheitsventils eine ungewöhnliche elektrische Erscheinung beobachtet worden sey; als nämlich der Maschinenwärter zufällig die eine Hand in den Dampfstrahl hielt und mit der andern nach dem Hebel des Ventils faßte, um die Belastung derselben zu ajüstiren, schlug ein Funken zwischen dem Hebel und seiner Hand über, während er zugleich einen starken elektrischen Schlag erhielt.

Armstrong fand diese Angaben bestätigt und beobachtete bald auch an anderen Dampfkesseln ähnliche Erscheinungen.

Den ausströmenden Dampf fand er positiv elektrisch.

An einer auf eine isolirende Unterlage gestellten Locomotive fand Armstrong, daß dieselbe eine starke Ladung negativer Elektricität erhielt, wenn man die positive Elektricität des ausströmenden Dampfes gehörig ableitete, und zwar so, daß man sehr kräftige Funken aus der Locomotive ziehen konnte.

Anfangs war man der Meinung, die Elektricitätsentwicklung möchte wohl durch die Dampfbildung oder seine nachherige Condensation veranlaßt werden, und hoffte, daß die neu entdeckte Erscheinung vielleicht zur Aufhellung des Dunkels beitragen möchte, in welches noch die Entstehung der atmosphärischen Elektricität gehüllt ist.

Nach späteren, namentlich von Faraday angestellten Versuchen ist jedoch wohl kein Zweifel mehr, daß die Quelle dieser Elektricität die Reibung des mit Gewalt ausströmenden Dampfes an den Rändern der Oeffnung ist.

Armstrong hat die beim Ausströmen des Dampfes frei werdende Elektricität zur Construction einer Elektrisirmaschine benutzt, welche er Hydroelektrisirmaschine nennt. Eine kolossale Maschine der Art hat er für das polytechnic Institution zu London anfertigen lassen.

Dieser Apparat besteht aus einem cylinderförmigen Dampfkessel von $3\frac{1}{2}$ Fuß Durchmesser und $6\frac{1}{2}$ Fuß Länge. Der Feuerheerd ist im Kessel enthalten, und die erhitzte Luft wird in Röhren durch das Wasser zu einem Schornsteine geführt. Der Apparat ist durch 6 starke Glasfüße isolirt.

Der Dampf entweicht aus 46 durch Hähne verschließbaren Röhren, an deren Mündung eine Röhre von hartem Holze eingesetzt ist, wodurch die Wirkung sehr verstärkt wird.

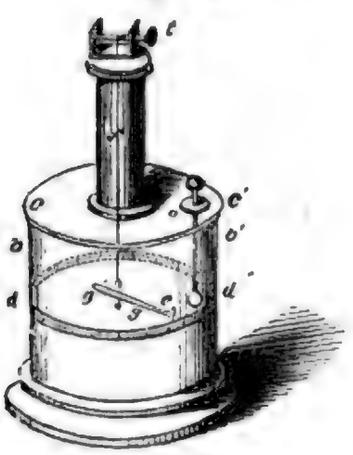
Der Dampf strömt gegen eine Reihe von Metallspitzen, die mit dem Boden in leitender Verbindung stehen, um die Elektricität des Dampfes abzuleiten. Aus dem Kessel konnten 22 Zoll lange Funken gezogen werden.

Drittes Kapitel.

Von den elektrischen Kräften.

Die elektrischen Anziehungen und Abstoßungen verhalten sich wie die Dichtigkeiten der auf einander wirkenden Fluida, und umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung. Dieses Fundamentalgesetz der elektrischen Wirkungen ist wie das entsprechende Gesetz für die magnetischen Kräfte von Coulomb aufgestellt und bewiesen worden. Er 38

Fig. 74.



wandte hier ganz analoge Mittel an, wie dort, nämlich die Drehwage und die Oscillationen einer kleinen elektrischen Nadel.

Man kann die Drehwage in der Gestalt Fig. 74 und in der Form Fig. 76 (a. f. S.) zu elektrischen Versuchen anwenden, nur muß man dafür sorgen, daß alle Wände möglichst gut isoliren. Der Boden und das Gestell wird deshalb von trocknem Holze gemacht und überfirnißt; die Seitenwände sind entweder durch einen Glascylinder oder durch 4 Glasplatten gebildet, und auch der Deckel ist von Glas. Dieser Deckel hat zwei Löcher, eins in der Mitte, über welchem die Röhre sich erhebt, und ein anderes auf der Seite, um die elektrisirten Körper in den Apparat hineinzubringen. Das Mikrometer am obern Theile der Röhre ist gerade so eingerichtet, wie zu den magnetischen Versuchen. Der Silber- oder Messingfaden, welcher in dem Rohre herunterhängt, trägt an seinem untern Ende eine leichte Nadel von Schellack, die sehr gut äquilibrirt seyn muß und an einem Ende ein Kügelchen von Hollundermark oder ein Scheib-

chen von Blattgold trägt, welches 6 bis 8 Linien im Durchmesser hat. Auf den Boden setzt man ein Schälchen, in welchem sich einige Stücke

Fig. 75.

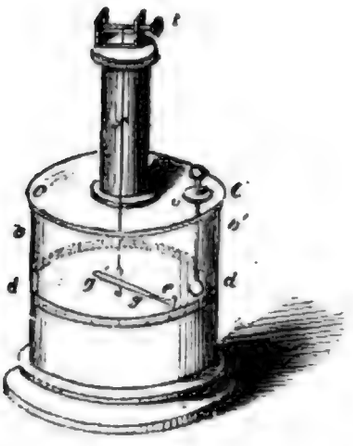
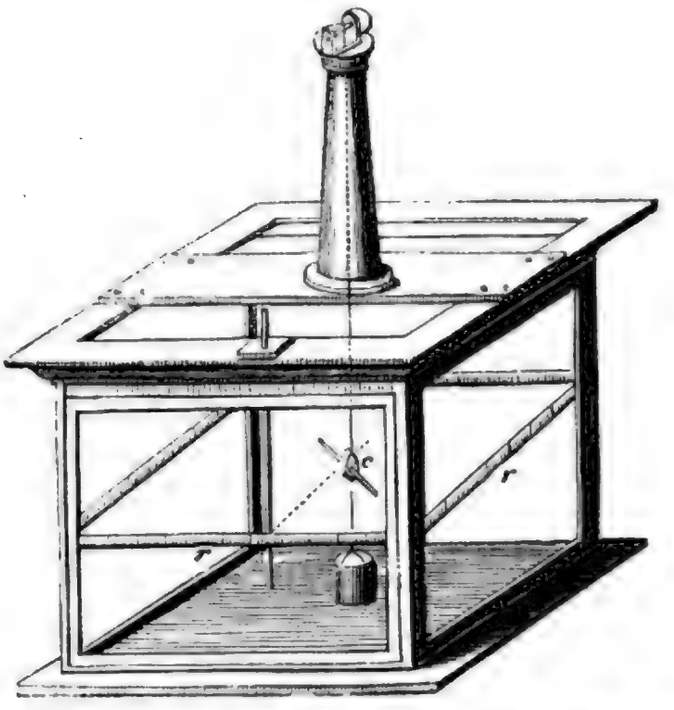


Fig. 76.



Chlorcalcium befinden, welche dazu dienen, die Luft im Innern trocken zu erhalten.

Um mit diesem Apparate das Gesetz der elektrischen Abstoßung zu beweisen, ertheilt man der Scheibe oder dem Kügelchen der horizontalen Schellacknadel eine bestimmte Elektricität und bringt dann ein mit derselben Elektricität geladenes Scheibchen oder Kügelchen, welches am untern Ende eines vertikal gehaltenen Schellackstäbchens befestigt ist, wie Fig. 75 zeigt, in den Apparat. Das Mikrometer muß anfänglich so gestellt seyn, daß, bevor ein elektrisirter Körper in den Apparat gebracht wird, das eine Ende der horizontalen Schellacknadel, welches das Scheibchen oder Kügelchen trägt, an der Stelle sich befindet, welche nachher das untere Ende des von oben eingeschobenen Schellackstabes einnimmt. Bei dieser Stellung ist die horizontale Schellacknadel nach dem Nullpunkte der Theilung gerichtet. Sobald nun das Scheibchen, welches unten am vertikalen Schellackstabe sich befindet, mit derselben Elektricität geladen ist, wie das Scheibchen der horizontalen Nadel, so findet eine Abstoßung Statt, deren Stärke auf dieselbe Weise gemessen werden kann, wie bei den entsprechenden magnetischen Versuchen.

Um zu beweisen, daß die elektrischen Abstoßungen sich verhalten wie die Dichtigkeiten der auf einander wirkenden elektrischen Flüssigkeiten, muß man ein Princip anwenden, welches schon für sich selbst einleuchtend ist: daß nämlich auf zwei leitenden, isolirten und vollkommen gleichen Kugeln sich die Elektricität, die sich auf ihnen befindet, ganz gleichförmig vertheilt, wenn

man sie in Berührung bringt. Wäre z. B. vor der Berührung nur die eine der beiden Kugeln elektrisirt gewesen, die andere nicht, so wird bei der Berührung die erstere die Hälfte ihrer E verlieren. Nachdem man zuerst die Torsionskraft bestimmt hat, welche der abstoßenden Kraft zwischen den Kügelchen der horizontalen Nadel und des eingeschobenen Stabes für eine bestimmte Entfernung das Gleichgewicht hält, berührt man das eine Kügelchen mit einem vollkommen gleichen, auf dieselbe Weise isolirten, nicht elektrischen Kügelchen. Das auf diese Weise berührte verliert die Hälfte seiner Elektricität, und um nun wieder gleiche Ablenkung der horizontalen Nadel zu erhalten, darf die Torsion des Fadens nur halb so groß seyn, als vor der Berührung. Nimmt man auf dieselbe Weise dem einen Kügelchen wieder die Hälfte seiner Elektricität, so wird die abstoßende Kraft abermals um die Hälfte vermindert u. s. w. Nimmt man zu gleicher Zeit jedem der beiden Kügelchen in der Drehwage die Hälfte seiner Elektricität, so ist die Wirkung zwischen beiden 4mal schwächer als vorher.

Coulomb hat dieselben Gesetze mit derselben Schärfe auch nachgewiesen, indem er eine kleine Nadel von Schellack, die an einem Seidenfaden horizontal aufgehangen war und an seinem einen Ende ein Scheibchen von Blattgold trug, welches elektrisirt wurde, unter dem Einflusse einer elektrisirten isolirten Kugel oscilliren ließ. Ist die Kugel und das Scheibchen mit derselben Elektricität geladen, so bildet das Scheibchen das der Kugel abgewendete Ende des elektrischen Pendels; sind aber die Elektricitäten des Scheibchens und der Kugel entgegengesetzt, so ist das Scheibchen der Kugel zugewendet. Aus den Oscillationen des elektrischen Pendels kann man auf die dasselbe beschleunigenden Kräfte in ähnlicher Weise schließen, wie wir bei den magnetischen Oscillationen gesehen haben, nur ist hier die Wirkung zwischen der Kugel und der Scheibe die einzige Ursache der Oscillationen, während wir dort noch die Wirkung des Erdmagnetismus auf die Nadel in Rechnung bringen mußten. Es ergiebt sich aus diesen Versuchen, daß die Intensitäten der auf das elektrische Pendel wirkenden Kräfte sich unter einander verhalten wie die Quadrate der Zahl der Oscillationen, welche unter ihrem Einflusse die Nadel in gleichen Zeiten macht.

Allmäliger Verlust der Elektricität. Wenn ein elektrisirter Leiter 39
noch so gut isolirt ist, so verliert er doch nach und nach seine Elektricität, sie zerstreut sich in der Luft oder geht in den Boden über. Da sich nun ein solcher Verlust nicht vermeiden läßt, so muß man doch bei genauen Versuchen dafür sorgen, daß er möglichst langsam vor sich gehe, daß er regelmäßig und meßbar werde. Ohne dies ist eine genaue Messung und Vergleichung elektrischer Kräfte ganz unmöglich, denn die Körper, welche man dem Versuche unterwirft, verlieren fortwährend an Elektricität, und diesen Verlust könnte man nicht in Rechnung bringen, wenn das Gesetz des Verlustes nicht ermittelt wäre.

Der Verluſt durch die iſolirenden Träger findet theils durch ihre Subſtanz, theils durch eine dünne Feuchtigkeitsſchicht Statt, mit welcher ſie ſich überziehen. Dieſes letztere findet beſonders bei Glas und Seide Statt, auf welche ſich der Waſſerdampf ſehr leicht niederſchlägt. Es iſt deshalb immer nöthig, Glasoberflächen, die gut iſoliren ſollen, mit einer Schicht von Schellackfirniß zu überziehen. Nach Coulomb's Verſuchen iſolirt ein ſo überzogener Glasſtab, ebenſo wie eine Schellackſtange, ſchwache Ladungen vollkommen, wenn er 15 bis 20 Zoll lang iſt. Man muß freilich durch Erwärmen dafür ſorgen, daß alle Feuchtigkeit vollkommen entfernt ſey. Da ſie jedoch nur dann vollſtändig iſoliren, wenn ſie eine hinreichende Länge haben, ſo iſt klar, daß ſie ſelbſt eine gewiſſe elektriſche Ladung annehmen, und man begreift wohl, daß eine ſtärkere Ladung, die gleichartige Elektricität mit großer Kraft abſtoßend, ſie bis an das Ende des iſolirenden Trägers treibt und ſie nöthigt, langſam und continuirlich in den Boden überzuſtrömen. Daß ein Leiter durch ſeine Träger vollſtändig iſolirt ſey, erkennt man daran, daß er, mit mehreren derſelben in Berührung gebracht, nicht mehr verliert, als wenn er nur von einem einzigen getragen wird. Aller Verluſt, welchen er alsdann erleidet, rührt nur von der Berührung mit der Luft her.

Der Verluſt durch die Luft rührt größtentheils von dem in der Luft enthaltenen Waſſerdampfe her, denn er nimmt mit der Feuchtigkeit der Luft zu. Es iſt dies ſo auffallend, daß, wenn man über eine elektriſche Glasröhre oder einen Harzſtab hinbläſ't, dieſe alle Elektricität verlieren. Ebenſo verhält es ſich, wenn man nach einem iſolirten Leiter bläſ't, nur darf man natürlich dieſem nicht zu nahe kommen, weil ſonſt ein Funken überſpringt. Wahrſcheinlich aber rührt nicht aller Verluſt, den ein elektriſirter Körper in der Luft erleidet, nur von der Gegenwart des Waſſerdampfs her, denn ſelbſt in einer Luft, welche durch Chlorcalcium vollſtändig getrocknet iſt, findet ein ſolcher Verluſt Statt, wie die Verſuche mit der Drehwage zeigen. Nehmen wir z. B. an, daß die beiden Kügelchen durch eine Drehung von 250^0 des obern Mikrometers in einer Entfernung von 20^0 gehalten werden, ſo iſt die Torſionskraft, welche der abſtoßenden Kraft das Gleichgewicht hält, $250^0 + 20 = 270^0$. Nach und nach aber näher nähern ſich die Kügelchen, und man muß, nach 1 Minute etwa, die Torſion um 6^0 verringern, um die Entfernung von 20^0 wieder zu erhalten. In einer Minute war alſo der Verluſt an Elektricität entſprechend einer Torſion von 6^0. Zu Anfang der Minute war die elektriſche Kraft gleich einer Torſion von 270^0, am Ende derſelben gleich 264^0; die mittlere elektriſche Kraft während dieſer Minute war alſo $\frac{270 + 264}{2} = 267^0$. In einer Minute betrug alſo der Verluſt $^6/_{267}$ oder $^1/_{44}$ der mittleren elektriſchen Kraft.

Auf dieſe Weiſe hat Coulomb genau den elektriſchen Verluſt in der Luft

ermittelt. An trocknen Tagen war er $^1/_{60}$ bis $^1/_{70}$ der mittleren Kraft für jede Minute, an feuchten Tagen betrug er oft $^1/_{20}$; unter solchen Umständen sind genaue Versuche nicht möglich. Wenn in der Atmosphäre wenige Veränderungen vorgehen, seyen es nun Veränderungen der Wärme oder der Windrichtung, so bleibt der Verlust durch die Luft den ganzen Tag über fast derselbe.

Auch den elektrischen Verlust eines außerhalb der Drehwage befindlichen isolirten Leiters kann man mit der Drehwage messen. Man berührt ihn an einer bestimmten Stelle mit einem Probescheibchen und bringt dieses in die Drehwage, deren horizontale Nadel sich noch im natürlichen Zustande befindet. Anfangs wird sie angezogen, berührt das Probescheibchen, ladet sich mit seiner Elektricität und wird dann abgestoßen. Die Stärke der Abstoßung wird auf die bekannte Art gemessen. Will man sehen, wieviel die elektrische Ladung des isolirten Leiters nach einer bestimmten Zeit abgenommen hat, so muß man vorerst die Nadel der Drehwage wieder in den natürlichen Zustand versetzen und dann den Versuch ganz auf dieselbe Weise wiederholen.

Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche leitender Körper. So lange ein Körper sich im natürlichen Zustande befindet, d. h. so lange die beiden elektrischen Fluida noch verbunden sind, sind sie wahrscheinlich ganz gleichförmig in der ganzen Masse der Körper vertheilt. Sobald aber die eine Flüssigkeit von der andern getrennt ist, sobald ein Leiter mit freier Elektricität geladen ist, wirken die einzelnen Elemente dieser freien Elektricität abstoßend auf einander und entfernen sich deshalb so weit von einander als nur irgend möglich ist, bis sie durch irgend ein Hinderniß aufgehalten werden. Ein vollkommen leitender Körper kann in seinem Innern dieser Dispersion kein Hinderniß entgegensetzen; die Elektricität verbreitet sich deshalb auf ihre Oberfläche und würde sich noch weiter zerstreuen, wenn sich der Körper in einem für die Elektricität leicht durchdringlichen Raume befände. Die Elektricität verbreitet sich also stets auf der Oberfläche der Leiter und wird auf derselben durch die Luft zurückgehalten, welche sie gleichsam wie eine nichtleitende Schicht umgiebt. 40

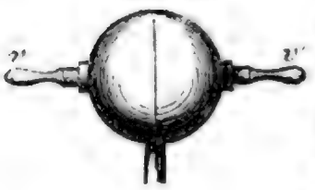
Daß die freie Elektricität sich nur auf der Oberfläche der Körper, und nicht im Innern derselben, verbreitet, beweisen auch folgende Versuche.

1) Man elektrisire zwei vollkommen gleiche isolirte metallene Kugeln, *a* und *b*, während sie mit einander in Berührung sind, so wird sich die Elektricität gleichförmig über beide verbreiten. Man trenne sie nun, berühre die Kugel *a* mit einer isolirten Hohlkugel, *b* mit einer ebenso großen isolirten massiven Kugel, so wird man mit Hülfe des Probescheibchens finden, daß *a* und *b* gleichviel Elektricität verloren haben, die massive Kugel hat also nicht mehr Elektricität weggenommen als die gleich große Hohlkugel.

2) Eine Kugel von 7 bis 8 Zoll Durchmesser, mit einer 8 bis 10 Linien breiten, 1 Zoll tiefen Höhlung werde isolirt und mit Elektricität geladen.

Wenn man nun die Oberfläche dieser Kugel an irgend einer Stelle mit einem Probescheibchen berührt, so ladet es sich mit Elektricität, wenn man aber den Boden der Höhlung mit dem Probescheibchen berührt, so bleibt es in seinem natürlichen Zustande.

Fig. 77.



3) Elektrisirt man eine durch einen Glasfuß isolirte Metallkugel, hüllt man sie nachher in zwei metallene hohle Halbkugeln von demselben Durchmesser ein, die man an isolirenden Handhaben anfassen kann, so findet man, wenn man die Halbkugeln rasch wieder wegnimmt, daß alle Elektricität auf sie übergegangen ist und daß auf der Kugel selbst gar keine freie Elektricität zurückgeblieben ist.

Elektrisirt man eine isolirte Kugel, so erfordert schon das Gesetz der Symmetrie, daß sich die Elektricität auf der ganzen Oberfläche gleichförmig verbreitet, daß sie eine Schicht bildet, welche überall gleiche Dichtigkeit hat. Aber auch durch den Versuch kann man sich davon überzeugen, daß es wirklich so ist. Berührt man nämlich die elektrisirte Kugel an irgend einer Stelle mit einem Probescheibchen, so bildet dasselbe hier gleichsam ein Element der Kugeloberfläche, und es verbreitet sich auf dem Probescheibchen gerade so viel Elektricität, als sich auf dem bedeckten Kugelstücke befand; hebt man nun das Scheibchen ab, so kann man die Stärke seiner elektrischen Ladung mit Hülfe der Drehwage bestimmen. An welcher Stelle der Kugel man aber auch das Probescheibchen aufsetzen mag, überall erhält es eine gleich starke Ladung.

Anstatt die Stärke der Ladung, welche das Probescheibchen annimmt, mit der Drehwage zu messen, kann man auch das Elektrometer Fig. 60 anwenden, und aus der Divergenz der Goldblättchen, welche man erhält, wenn man die Platte des Elektrometers mit dem Probescheibchen berührt, auf die Stärke seiner Ladung schließen. Wo man auch die Kugel mit dem Probescheibchen berührt haben mag, man erhält gleiche Divergenz der Goldblättchen.

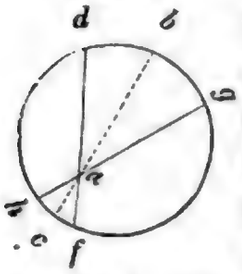
Wenn der isolirte Leiter, den man elektrisirt, nicht kugelförmig ist, so findet auch keine gleichmäßige Vertheilung der Elektricität Statt, d. h. die elektrische Schicht, welche sich über den Körper verbreitet, hat nicht überall gleiche Dichtigkeit. Untersucht man mit Hülfe eines Probescheibchens die Dichtigkeit der Elektricität an verschiedenen Stellen eines Cylinders (Fig. 78) mit abgerundeten Enden, so findet man, daß die Dichtigkeit der Elektricität an den Enden weit größer ist als in der Mitte. Bei einem Cylinder dieser Art, welcher 8 Zoll lang war und 2 Zoll

Fig. 78.

Durchmesser hatte, verhielten sich die Intensitäten in der Mitte, 2 Zoll vom Ende 1 Zoll vom Ende und am Ende selbst wie 1 : 1,25 : 1,8 : 2,3. Von der Mitte ausgehend, ändert sich also anfangs die Intensität nur wenig, nimmt aber nahe an den Enden in einem raschen Verhältniß zu. Noch weit stärker wird das Probescheibchen geladen, wenn man es so an das Ende des Cylinders hält, daß seine Fläche nicht auf dem Cylinder aufliegt, sondern daß seine Ebene in die Verlängerung der Cylinderaxe fällt. Ganz ähnliche Resultate erhält man, wenn man den elektrischen Zustand einer Scheibe, etwa eines Elektrophordeckels, untersucht.

Daß eine solche Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche von Körpern stattfinden müsse, welche nach verschiedenen Richtungen hin ungleiche Ausdehnung haben, läßt sich auch schon durch eine einfache Betrachtung einsehen. Wenn sich auf der Oberfläche eines isolirten Leiters freie Elektricität verbreitet, so bleiben doch die Theilchen im Innern in ihrem natürlichen Zustande. Ein Element der Oberfläche wirkt aber zersetzend auf die noch verbundenen Elektricitäten eines Theilchens im Innern, es zieht die ungleichnamige E an und stößt die gleichnamige ab, es würde also eine Zersetzung erfolgen, wenn nicht von dem diametral gegenüber liegenden Element der Oberfläche eine ganz gleiche Wirkung im entgegengesetzten Sinne ausgeübt würde. Es sei a (Fig. 79) ein Punkt im Innern einer elektrisirten Kugel. Ziehen wir durch a irgend eine gerade Linie, so trifft diese die Kugeloberfläche in zwei Punkten, b und c. Denken wir uns nun eine Linie df, welche mit bc einen ganz kleinen Winkel macht, um die Axe bc umgedreht, so entstehen zwei Kegel, welche mit ihren Spitzen in a zusammentreffen, und deren Grundflächen zwei Stückchen der Kugeloberfläche sind, die in unserer Figur freilich nur als Linien, dg und hf, erscheinen. Man sieht nun leicht ein, daß, wenn die Kugel elektrisirt ist und sich die Elektricität im Zustande des Gleichgewichts befindet, daß dann die über das Flächenstück dg verbreitete Elektricität die Wirkung aufheben müsse, welche die auf dem Flächenstück hf befindliche auf den Punkt a ausübt. Nun aber sind die Entfernungen ab und ac nicht gleich, dg liegt weiter von a als hf, wenn also die Wirkungen gleich sein sollen, so muß sich auf dem Flächenstück dg mehr Elektricität befinden als auf hf, und zwar müssen sich die Mengen der Elektricität auf dg und hf verhalten wie die Quadrate von ab und ac. Wäre z. B. ac halb so groß wie ab, so müßte auf dem Flächenstück dg 4mal so viel Elektricität verbreitet sein als auf hf. Nun aber verhalten sich die Flächenstücke dg und hf selbst wie die Quadrate von ab und ac, d. h. in unserm Fall ist die Fläche dg 4mal so groß als die Fläche hf. Wenn aber auf einer Fläche, welche viermal so groß ist als eine andere, 4mal so

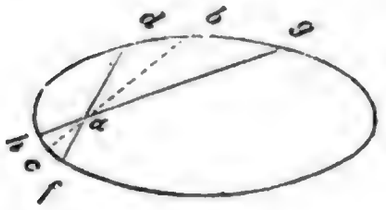
Fig. 79.



viel Elektricität verbreitet iſt als auf dieſer, ſo iſt klar, daß die Dichtigkeit der Elektricität auf beiden Flächen gleich groß ſeyn müſſe.

Wenden wir daſſelbe Raiſonnement auf einen nicht kugelförmigen Körper an. Die Elektricität auf dem Flächenſtück dg, Fig. 80., die wir mit M bezeichnen wollen, und die auf dem Flächenſtück hf, die mit m bezeichnet ſeyn mag, werden auf den Punkt a gleiche und entgegengeſetzte Wirkungen hervorbringen; wenn ſich M und m verhalten wie ab^2 zu ac^2. Wenn ſich nun die Flächenſtücke dg und hf ebenfalls verhielten wie ab^2 zu ac^2, ſo würde daraus folgen, daß die Dichtigkeit der E auf beiden gleich groß wäre. Dies iſt aber nicht der Fall; das Flächenſtück dg iſt weit größer als dieſem Verhältniß entſpricht, eine $n$fache Elektricitätsmenge verbreitet ſich alſo nicht über eine $n$fache Fläche, ſondern über eine bei weitem größere, die Dichtigkeit der E auf dg muß alſo weit geringer ſeyn als die Dichtigkeit der E auf hf.

Fig. 80.



Jemehr ſich die Geſtalt eines Körpers von der Kugelgeſtalt entfernt, deſto ungleichförmiger vertheilt ſich die Elektricität auf ſeine Oberfläche, ſie häuft ſich an den von ſeiner Mitte entfernteren Enden am meiſten an, und zwar um ſo mehr, je dünner ſie ſind. Es geht daraus hervor, daß, wenn man an einem iſolirten Leiter eine Spitze anbringt, die Elektricität an dieſer Spitze eine außerordentliche Dichtigkeit haben muß. Je dichter aber die Elektricität in einem Punkte iſt, deſto eher wird ſie den Widerſtand der Luft, welche ſie auf dem Körper zurückzuhalten ſtrebt, überwinden können. Daher kommt es, daß aus Spitzen die Elektricität ſo leicht ausſtrömt. Man kann eine Menge von Verſuchen anſtellen, durch welche dieſes Vermögen der Spitzen bewieſen wird, wir wollen jedoch nur einige hervorheben.

1) Wenn man den Conductor einer Elektriſirmaſchine mit einer Spitze verſieht, ſo iſt es unmöglich, den Conductor ſo zu laden, daß man aus ihm Funken ziehen könnte. Alle durch die Umdrehung der Maſchine erzeugte Elektricität entweicht alsbald durch die Spitze.

2) Wenn man eine Spitze, die mit dem Boden in leitender Verbindung ſteht, dem Conductor der Maſchine bis auf einige Decimeter nähert, ſo iſt es gleichfalls unmöglich, ihn zu laden. Die Elektricität des Conductors zerlegt die verbundenen Elektricitäten der Spitze, ſie ſtößt die gleichnamige ab und zieht die ungleichnamige an, dieſe ungleichnamige Elektricität häuft ſich in der Spitze ſo ſtark an, daß ſie nach dem Conductor überſtrömt, um ſeine Elektricität zu neutraliſiren.

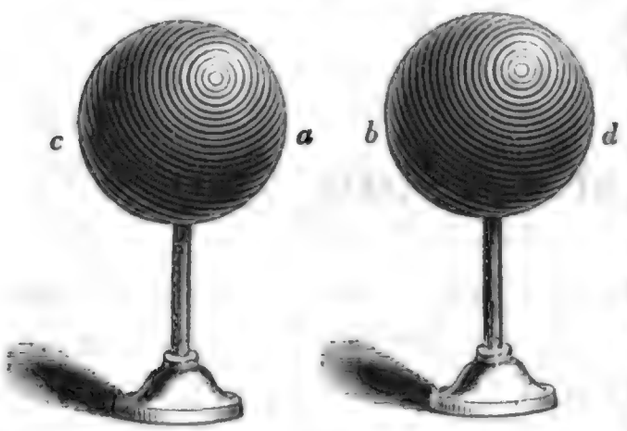
Wir werden in der Meteorologie bei der Betrachtung der Blitzableiter auf dieſe Eigenſchaft der Spitzen zurückkommen.

Winkel und ſcharfe Kanten, die ſich an leitenden Körpern befinden, wir-

ken ganz auf dieselbe Weise wie die Spitzen. Man muß deshalb sorgfältig alle eckigen Formen vermeiden, wenn man Apparate construiren will, welche bestimmt sind, die Elektricität zu halten.

Wenn einem isolirten elektrischen Leiter ein anderer Leiter genähert wird, so erleidet die Vertheilung der Elektricität auf den Oberflächen bedeutende Modificationen. Einer elektrisirten isolirten Kugel werde eine andere gleichfalls isolirte und mit derselben Elektricität geladene genähert, so findet nicht mehr eine gleichförmige Vertheilung der Elektricität auf den Kugeloberflächen Statt. Weil nämlich die E der einen Kugel die der andern abstößt, so wird an denjenigen Punkten der Kugeln, welche einander zugewendet sind, die Dichtigkeit der E am kleinsten, an den entgegengesetzten Punkten aber am größten seyn. Fig. 81 stellt zwei solcher Kugeln dar. In a und b ist die Dichtigkeit der E ein Minimum, in c und d ein Maximum.

Fig. 81.



Je mehr man nun die Kugeln nähert, desto mehr wird die Dichtigkeit in a und b vermindert, in c und d aber vermehrt. Bringt man die beiden Kugeln in Berührung, so ist die Dichtigkeit der E an der Berührungsstelle gleich Null. Wären die beiden Kugeln mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen gewesen, so hätte man in a und b die größte, in c und d die geringste Dichtigkeit gefunden. Die Anhäufung der E in a und b nimmt zu, wenn man die Kugeln nähert, bis endlich ein Funken überspringt.

Ein nicht elektrisirter Leiter, in die Nähe eines elektrisirten isolirten gebracht, wirkt ganz in der Weise, wie ein mit der entgegengesetzten Elektricität geladener Körper, weil er ja bei der Annäherung durch Induction elektrisch wird.

Die Kraft, mit welcher die Elektricität von einem isolirten Leiter sich zu entfernen strebt, verhält sich wie das Quadrat der Dichtigkeit der elektrischen Schicht. 41 Wir haben gesehen, daß die abstoßende Kraft zweier isolirten gleichnamig elektrisirten Leiter verdoppelt wird, wenn man die Ladung des einen verdoppelt; wenn man aber auch die Ladung des andern verdoppelt, so wird die zwischen beiden wirkende abstoßende Kraft 4 mal größer. Man kann allgemein sagen, die abstoßende Kraft, mit welcher zwei gleichnamig elektrisirte isolirte Leiter auf einander wirken, wird n^2mal größer, wenn sowohl die Ladung des einen als auch die des andern $n$mal so groß gemacht wird. Das Bestreben der Elektricität, sich von einem isolirten Leiter zu entfernen, rührt aber nur daher, daß die E an irgend einer Stelle seiner Oberfläche von der gleichnamigen Elektri-

cität abgestoßen wird, welche über die ganze übrige Oberfläche verbreitet ist. Betrachten wir nun irgend zwei Stücke a und b der Oberfläche eines isolirten Leiters, so wird die Elektricität in a diejenige in b abstoßen. Wenn aber die elektrische Ladung des ganzen Körpers verdoppelt wird, so wird die Dichtigkeit der elektrischen Schicht sowohl in a als auch in b doppelt so groß seyn, als sie vorher war, die Abstoßung zwischen der Elektricität der beiden Flächenstücken wird also 4mal so groß, als sie vorher war. Bei einer $n$fachen Ladung ist sowohl in a als auch in b die $n$fache Dichtigkeit, mithin findet eine n^2mal so große Abstoßung Statt.

Es ergiebt sich daraus, daß der elektrische Verlust isolirter Leiter in einem weit rascheren Verhältniß zunimmt als die Größe der Ladung.

Viertes Kapitel.

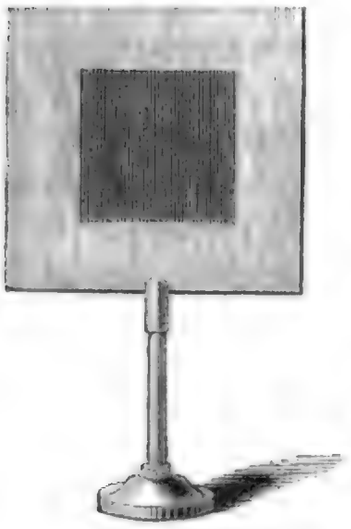
Von der gebundenen Elektricität.

42 Wir haben schon gesehen, daß, wenn zwei isolirte Leiter, mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen, durch eine Luftschicht getrennt sind, die Elektricität des einen die des andern in der Weise anzieht, daß man abwechselnd den einen oder den andern der beiden Körper mit dem Boden in leitende Verbindung setzen kann, ohne daß seine Elektricität vollständig abgeleitet werden kann. In Fig. 81 sey z. B. die Kugel links mit positiver, die rechts mit negativer Elektricität geladen, so kann man die eine oder die andere Kugel mit dem Finger berühren, ohne daß sie ihre Ladung verlieren. Die Elektricität auf der einen Kugel wird durch die entgegengesetzte E auf der andern angezogen, sie kann sich nicht entfernen, sie ist gebunden. Je näher die beiden Elektricitäten einander gebracht werden, desto stärker ziehen sie sich an, desto vollständiger ist also auch ihre gegenseitige Bindung; wenn aber die beiden Leiter nur durch eine Luftschicht getrennt sind, so kann die Bindung nicht sehr vollständig seyn, weil man sie nicht sehr nähern kann, ohne daß die Luftschicht durchbrochen wird und ein Funken überspringt. Wenn also die Bindung möglichst vollkommen sein soll, so müssen die beiden mit entgegengesetzten Elektricitäten geladenen Leiter nicht durch Luft, sondern durch einen andern Isolator getrennt seyn, welcher dem Uebergang der Elektricität einen größeren Widerstand entgegensetzt; man wählt dazu am besten Glas oder Harz.

Um die Eigenschaften der gebundenen Elektricität näher zu untersuchen,

ist die Franklin'sche Tafel ganz besonders geeignet. Fig. 82 stellt eine Glastafel vor, deren Seiten ungefähr 1 Fuß lang sind. In der Mitte ist die Glastafel auf jeder Seite mit Staniol belegt, so daß das Glas an dem Rand ungefähr handbreit frei bleibt. Um die unbelegten Stellen des Glases besser isolirend zu machen, kann man sie mit Firniß überstreichen. Wenn man nun die vordere Belegung mit positiver, die hintere mit negativer Elektricität ladet, so sind die beiden entgegengesetzten Elektricitäten einander sehr nahe, sie sind nur durch die Dicke der Glasscheibe getrennt, die sie jedoch nicht zu durchbrechen im Stande sind; die Bindung wird also hier ziemlich vollständig stattfinden.

Fig. 82.



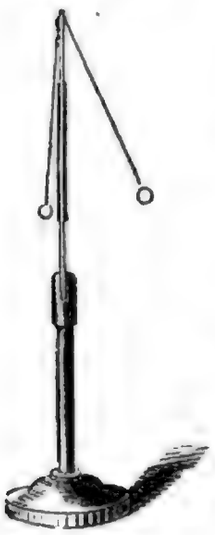
Um die beiden Belegungen der Franklinschen Tafel mit den entgegengesetzten Elektricitäten zu laden, hat man nicht nöthig, jede mit einer Elektricitätsquelle in Verbindung zu bringen. Man bringe die eine Belegung, etwa die vordere, mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitende Verbindung, so wird ein Theil der $+E$ vom Conductor auf die Belegung übergehen. Die Elektricität auf der vordern Belegung wirkt vertheilend auf die verbundenen Elektricitäten der hintern; und sobald man diese mit dem Boden in leitende Verbindung setzt, strömt die $+E$ in den Boden über und die $-E$ verbreitet sich auf der hintern Belegung. Die $-E$ auf der hintern Belegung wirkt aber bindend auf die $+E$ der vordern, und dadurch wird es möglich, daß von neuem Elektricität vom Conductor aus auf die vordere Belegung übergeht, die auch durch ihre vertheilende Kraft wieder die $-E$ auf der hinteren Belegung vermehrt. Man kann auf diese Weise leicht die eine Belegung mit $+E$, die andere mit $-E$ laden.

So klein auch die Entfernung der beiden Belegungen sein mag, so ist doch die gegenseitige Bindung nicht vollständig. Damit auf der einen Seite die E vollständig gebunden sey, muß auf der andern Seite ein Ueberschuß von Elektricität, also freie E vorhanden seyn. Man berühre die eine Belegung der geladenen Franklin'schen Tafel, etwa die hintere, mit dem Finger, während die vordere nicht mehr mit dem Conductor verbunden ist, so kann man nur etwas E ableiten, auf der hintern Belegung bleibt immer noch eine starke Ladung $-E$ zurück, welche vollständig gebunden ist. Damit aber diese $-E$ vollständig gebunden sey, ist durchaus erforderlich, daß auf der andern Seite ein Ueberschuß von $+E$ sich befinde. Daß es auch wirklich so sey, davon kann man sich leicht überzeugen. Nachdem man alle nicht gebundene $-E$ der hintern Belegung abgeleitet hat, berühre man

die vordere Belegung, so wird bei Annäherung des Fingers ein schwacher Funken überspringen, ein Beweis, daß hier freie Elektricität vorhanden war. Hat man nun von der vordern Belegung alle freie $+E$ weggenommen, so ist nun wieder auf der andern Seite freie $-E$, und man kann nun von der hintern Belegung einen schwachen Funken entlocken u. s. w.

Es läßt sich dieser Ueberschuß an Elektricität, welcher auf der einen Belegung vorhanden seyn muß, um die entgegengesetzte E auf der andern Seite vollständig zu binden, auch dem Auge sichtbar machen. Man befestige mit etwas Wachs auf jeder Seite der Tafel ein leichtes elektrisches Pendel in der Weise, wie man in Fig. 83 sieht, welche die Scheibe im Durchschnitt zeigt. Auf der Seite, auf welcher freie Elektricität sich befindet, wird das Pendel abgestoßen, während es auf der andern Seite gerade herunterhängt und mit der Belegung in Berührung bleibt. Berührt man die Seite, auf welcher sich freie Elektricität befindet, so fällt das Pendel nieder, während das auf der andern Seite steigt. Man kann also durch abwechselndes Berühren auf der einen und auf der andern Seite abwechselnd das eine und das andere Pendel steigen machen.

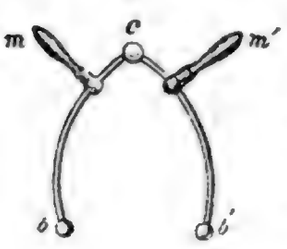
Fig. 83.



Diese Erscheinung mit den Pendeln läßt sich leicht erklären. Wenn auf der einen Seite ein Ueberschuß von $+E$ ist, so wirkt sie anziehend sowohl auf die E der andern Belegung, als auch auf die wenige Elektricität, die sich etwa im Kügelchen des Pendels befindet. Freilich wirkt die $-E$ der hintern Belegung abstoßend auf die $-E$ im Kügelchen, aber die Kraft, mit welcher der Ueberschuß der $+E$ das negative Kügelchen anzieht, ist größer als die Kraft der Abstoßung. Leitet man aber die überschüssige $+E$ ab, so verbreitet sich die freigewordene $-E$ zum Theil über das Kügelchen, welches nun abgestoßen wird, weil jetzt kein Ueberschuß von $+E$ auf der andern Seite mehr vorhanden ist, welcher es zurückhalten könnte.

Dadurch, daß man abwechselnd die eine und dann die andere Belegung mit dem Finger berührt und so immer die freie Elektricität auf der einen Seite wegnimmt, wird allmälig der Apparat ganz entladen. Wenn man aber die beiden Belegungen zugleich berührt, oder sie auf irgend eine andere Weise in leitende Verbindung setzt, so findet die Entladung auf einmal Statt, indem die angehäuften entgegengesetzten Elektricitäten der beiden Belegungen auf diesem Wege zu einander übergehen. Man wendet zu diesem Zwecke gewöhnlich den Fig. 84 dargestellten Entlader an. Er

Fig. 84.



besteht aus zwei gebogenen Messingstäben, $b\,c$ und $b'\,c$, welche bei c durch ein Charnier verbunden sind. Jeder der Arme des Ausladers endet mit einer kleinen Messingkugel (b und b') und ist außerdem noch mit einem isolirten Handgriff (m und m') versehen. Man berührt die eine Belegung mit der einen Kugel und nähert die andere Kugel der gegenüberstehenden Belegung. Schon in einiger Entfernung springt ein Funken mit lebhaftem Licht und lautem Knacken über. Diese Entladung ist leicht zu erklären. Nehmen wir an, die Kugel b sei mit derjenigen Belegung in Verbindung gebracht, auf welcher sich freie Elektricität befindet, so wird sich diese freie E über den ganzen Ausladen verbreiten; dadurch aber wird ein Theil der Elektricität auf der andern Belegung frei, und diese wirkt durch die Luftschicht hindurch, um die entgegengesetzte in der Kugel b' zu concentriren. Je näher nun die Kugel b' der zweiten Belegung gebracht wird, ein desto größerer Antheil der E in der berührten Belegung wird nach b' übergehen, bis endlich die Spannung hinreicht, um die Luftschicht zu durchbrechen, worauf dann natürlich eine vollständige Entladung erfolgt.

Hätte man die Kugel b mit derjenigen Belegung in Berührung gebracht, auf welcher sich keine freie E befindet, so hätte die freie E der andern Seite zersetzend auf die verbundenen Elektricitäten der genäherten Kugel b' gewirkt, in Folge dessen wäre ein Theil der bis dahin gebunden gewesenen E der berührten Belegung frei geworden, um nach b' überzugehen, bei hinlänglicher Annäherung von b' an die nicht berührte Belegung muß also ebenfalls die Entladung erfolgen.

Es ist nun noch die Frage zu beantworten, welches die Gränze der Ladung sei, welche man einer Franklin'schen Tafel ertheilen kann. Diese Gränze hängt von der Elektricitätsquelle ab, mit welcher man die eine Belegung in Berührung bringt.

Um die Betrachtung zu vereinfachen, wollen wir annehmen, man habe die eine Belegung nicht mit dem Conductor der Maschine in Berührung gebracht, welcher durch die Maschine stets neue Elektricität erhält, sondern mit einem isolirten Leiter, dem man eine bestimmte Ladung ertheilt hat. Sobald man diesen Leiter mit der einen Belegung in Verbindung bringt, wird ein Theil seiner Elektricität auf die Belegung übergehen; sobald man aber die andere Belegung mit dem Finger berührt, strömt eine bedeutend größere Menge von Elektricität von dem Leiter auf die Tafel über, es bleibt aber immer noch ein, wenn auch geringer, Theil freier Elektricität auf dem Leiter zurück. Damit auf der mit dem Finger berührten Belegung alle E gebunden sey, muß, wie wir schon wissen, auf der andern Seite noch freie Elektricität vorhanden seyn. Bezeichnen wir mit M die Menge aller Elektricität, welche sich auf der mit der Elektricitätsquelle berührten Belegung

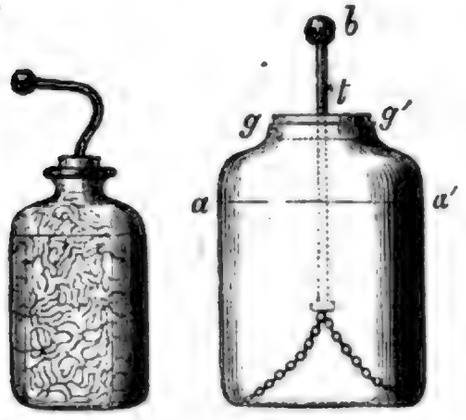
befindet, ſo wird auf der andern Seite nicht eine gleiche Menge M der entgegengeſetzten E gebunden, ſondern eine geringere Menge, die wir mit m bezeichnen wollen. m wird ein aliquoter Theil von M ſeyn, der um ſo größer iſt, je näher die Belegungen einander, je dünner alſo die Glasplatten ſind. Nehmen wir an, es ſey $m = 0{,}98\ M$. Die Elektricitätsmenge m auf der mit dem Finger berührten Belegung bindet aber einen Theil y der auf der andern Seite befindlichen Elektricitätsmenge M, und zwar wird für unſern Fall $y = 0{,}98\ m$ ſeyn. Setzt man nun für m ſeinen Werth $0{,}98\ M$, ſo kommt $y = 0{,}98^2\ M = 0{,}9604\ M$, d. h. von der Elektricitätsmenge M ſind nahe $^{24}/_{25}$ gebunden und $^1/_{25}$ iſt frei. Es wird alſo ſo lange von dem elektriſirten Leiter Elektricität auf die Belegung übergehen, bis die Dichtigkeit der gebundenen E 24mal ſo groß iſt, als die Dichtigkeit der noch außerdem über dieſe Belegung verbreiteten freien E. Das Verhältniß zwiſchen der freien und gebundenen Elektricität ändert ſich, wie ſchon bemerkt wurde, mit der Dicke der Glasſcheibe. Man kann ganz allgemein ſagen, daß die Gränze der Ladung erreicht ſey, wenn die noch freie Elektricität ein Bruchtheil, $^1/_n$, von der gebundenen iſt.

Wenn man die eine Belegung der Tafel mit einer fortdauernden Quelle von Elektricität, etwa dem Conductor der Maſchine, in Verbindung bringt, ſo iſt die Sache ganz dieſelbe. Wenn man die andere Belegung iſolirt läßt, ſo geht eine beſtimmte Menge Elektricität q auf die Belegung über, welche aber frei iſt. Die Menge q wird durch fortgeſetztes Drehen der Maſchine nicht vermehrt, es erſetzt nur, was verloren geht. Wenn auf dem Conductor der Maſchine ein Quadrantenelektrometer angebracht iſt, ſo hat dies ſehr bald eine Stellung erreicht, welche dem Maximum der Spannung entſpricht, die man dem Conductor geben kann. Sobald man aber die andere, bisher iſolirt gebliebene, Belegung mit dem Finger berührt, fällt das Electrometer auf der Stelle nieder, weil jetzt alle Elektricität vom Conductor gleich nach der Tafel hingezogen und daſelbſt gebunden wird. Die Bindung dauert jedoch nur ſo lange fort, bis das erwähnte Verhältniß zwiſchen der Menge der gebundenen und noch freien Elektricität ſtattfindet. Nun aber iſt q das Maximum der Dichtigkeit der freien E, welche ſich auf der Belegung verbreiten kann, folglich iſt nq die Dichtigkeit der gebundenen Elektricität, welche man auf der mit dem Conductor verbundenen Belegung anhäufen kann. Iſt man einmal ſo weit gekommen, daß die Dichtigkeit der gebundenen Elektricität $n$mal ſo groß iſt, als die der E, welche ſich auf der Belegung verbreitet haben würde, wenn die andere Belegung iſolirt geblieben wäre, ſo iſt die Gränze der Ladung erreicht, ein ferneres Umdrehen der Maſchine erſetzt nur den elektriſchen Verluſt.

Nicht immer läßt sich die angegebene Gränze der Ladung erreichen, denn wenn man hinlänglich kräftige Maschinen anwendet, so werden die Widerstände, welche die völlige Vereinigung der Elektricitäten der beiden Belegungen hindern, schon eher überwunden, es erfolgt von selbst schon eine Entladung, ehe noch eine Gränze erreicht ist, indem entweder das Glas durchbrochen wird, oder ein Funken durch die Luft über den unbelegten Glasrand hin überschlägt.

Die Leidner Flasche ist eigentlich nur eine veränderte Form der 43
Franklin'schen Tafel, sie besteht aus einem Glasgefäß, welches außen mit Staniol überklebt ist, welche Belegung bis auf einige Zoll vom Rande hinaufreicht; innen ist das Gefäß auf ähnliche Weise mit einer Belegung versehen oder mit einer leitenden Substanz, etwa Eisenfeile oder Schrotkörnern, gefüllt. Die innere Belegung ist mit einem Messingstab verbunden, welcher durch den Stopfen oder den Deckel des Gefäßes hindurchgeht und mit einem Knopfe endigt. Fig. 84 und Fig. 85 stellen zwei Formen der Leidner Flasche dar. Der nicht belegte Theil des Glases muß gefirnißt werden. Um die Flasche zu laden, bringt man die äußere Belegung mit dem Boden, den Knopf mit dem Conductor der Maschine in leitende Verbindung. Man kann aber auch umgekehrt die innere Belegung mit dem Boden und die äußere mit dem Conductor der Maschine verbinden.

Fig. 84. Fig. 85.



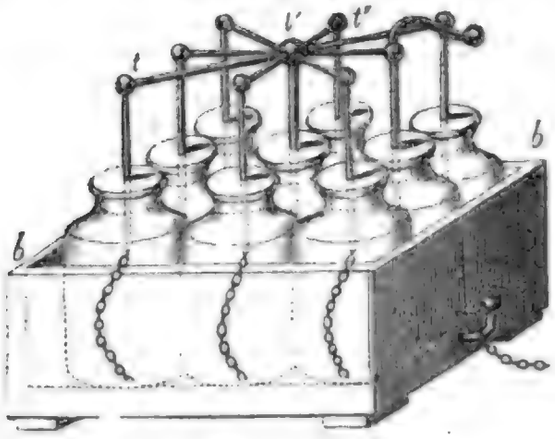
Auch die Leidner Flaschen entladen sich manchmal von selbst, indem entweder ein Funken von der äußeren Belegung zu dem Metallstab überspringt, oder indem das Glas durchbrochen wird. Im letztern Falle ist die Flasche natürlich für die Folge unbrauchbar.

Wenn man zur Entladung der Flasche mehrere Leiter zugleich anwendet, so wählt die Elektricität immer den besten. Drückt man z. B. mit der einen Hand einen Metalldraht an die äußere Belegung, so kann man ungestraft mit der andern Hand das andere Ende des Drahtes an den Knopf halten; der Entladungsschlag geht durch das Metall und nicht durch den Körper; der Draht darf jedoch nicht zu dünn seyn.

Um recht starke Ladungen zu erhalten, muß man möglichst große Flaschen nehmen, oder man muß mehrere Flaschen zu einer elektrischen

Batterie verbinden. Eine solche Batterie ist Fig. 86. dargestellt. Alle äußeren Belegungen der Flaschen sind unter sich in leitender Verbindung, ebenso alle inneren Belegungen.

Fig. 86.



Wenn der Entladungsschlag einer Leidner Flasche durch den menschlichen Körper hindurchgeht, so bringt er auf das Gefühl eine eigenthümliche, schwer zu beschreibende Empfindung, ein unwillkürliches Zucken der Nerven hervor. Am besten macht man den Versuch, wenn man mit einer Hand die äußere Belegung, mit der andern den Knopf anfaßt. Bei schwächeren Ladungen ist der Schlag nur in den Vorderarmen fühlbar, stärker fühlt man ihn auch im Oberarm, und, wenn die Ladung noch stärker gemacht wird, so bringt der Schlag einen heftigen Schmerz in der Brust hervor. Sehr starke Schläge können in der That gefährlich werden. Um kleinere Thiere, wie Vögel, Hasen u. s. w. durch den elektrischen Schlag zu tödten, hat man noch nicht einmal große Batterien nöthig, mit welchen man selbst noch größere Thiere tödten kann. An den durch einen elektrischen Schlag getödteten Thieren hat man bei der anatomischen Untersuchung derselben bis jetzt noch keine Verletzung der Organe entdecken können, nach den Zuckungen aber, welche sie machen, wenn der Schlag nicht ganz hinreichend war, um sie zu tödten, kann man beurtheilen, wie heftig das ganze Nervensystem angegriffen worden ist.

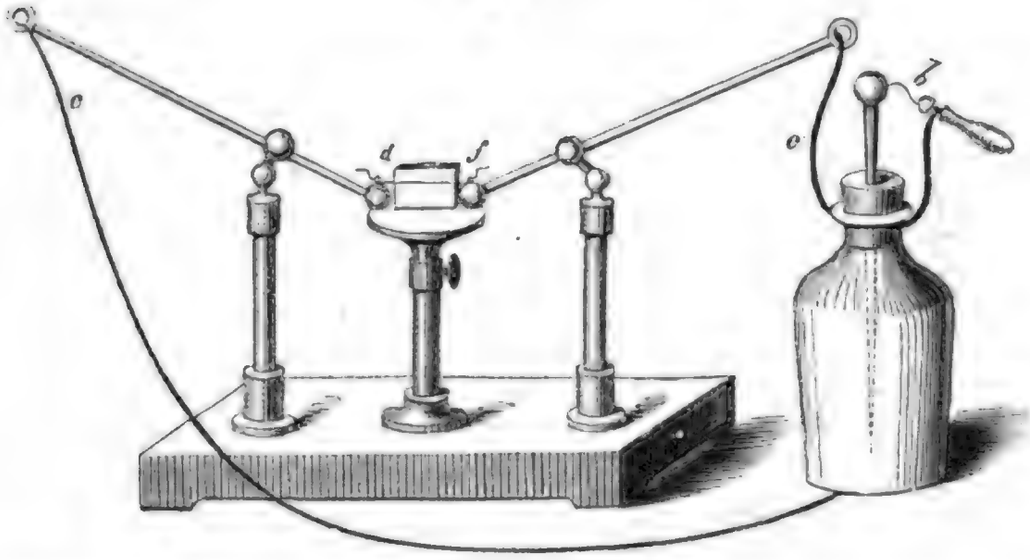
Wenn mehrere Personen eine Kette bilden, indem sie einander die Hände geben, und die erste die äußere Belegung der Flasche, die letzte den Knopf anfaßt, so fühlen alle den Schlag auf einmal.

Brennbare Flüssigkeiten kann man mit Hülfe der Leidner Flasche weit sicherer entzünden als mit dem directen Funken vom Conductor der Maschine. Selbst gepulvertes Colophonium, welches man auf Baumwolle streut, und Schießpulver kann man mit dem Entladungsfunken der Leidner Fsasche entzünden.

Zu sehr vielen Versuchen, die man mit dem Entladungsschlag der Leidner Flasche und der elektrischen Batterie anstellen kann, ist der Henley'sche allgemeine Auslader, welcher Fig. 87 (a. f. S.) dargestellt ist, ganz besonders bequem. Der eine Arm ist durch die Kette *c* mit der äußeren Belegung in leitender Verbindung, an dem andern Arm ist eine Kette *c'* befestigt, welche mit der isolirten Kugel *b* endigt. Wenn man den Funken durchschlagen lassen will, so faßt man die isolirende Handhabe der Kugel *b*

und nähert sie rasch dem Knopfe der Flasche. Der Funke schlägt bei *b* und zwischen den beiden Kugeln *d* und *f* über, welche auf einem isolirenden

Fig. 87.



Tischchen aufliegen.

Wenn man die Kugeln *d* und *f* durch einen sehr dünnen Eisendraht verbindet, so wird dieser erwärmt, wenn ein schwacher Schlag hindurchgeht, eine stärkere Ladung macht ihn rothglühend und eine noch stärkere macht, daß er in einzelnen geschmolzenen Kügelchen auseinanderfährt, die weithin fortgeschleudert werden.

Ein schmaler Streifen Zinnfolie, welcher 3 bis 4 Zoll lang ist, wird durch den Entladungsschlag einer gewöhnlichen Batterie verflüchtigt, der Dampf oxydirt sich und bildet lange in der Luft schwebende, Spinnengeweben ähnliche Fäden.

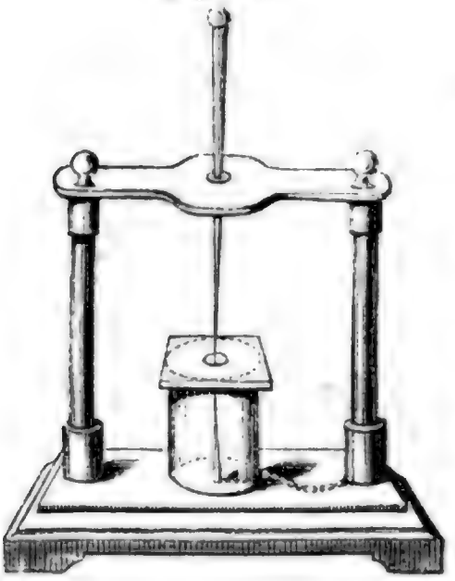
Auch andere Metalle werden auf diese Weise erhitzt, glühend gemacht, geschmolzen und oxydirt, wenn man sie aber von gleicher Länge und von gleichem Durchmesser nimmt, so bringt dieselbe Ladung nicht denselben Effect hervor. Die schlechteren Leiter, wie Platin und Eisen, werden, bei gleichen Dimensionen, weit stärker erwärmt, als Gold und Kupfer, welche bessere Leiter sind.

Mit Gold übersponnene Seidenfäden bieten eine eigenthümliche Erscheinung dar. Das Gold, welches sie bedeckt, wird verflüchtigt und oxydirt, ohne daß die Seide auch nur zerrissen worden wäre. Um diesen Versuch recht deutlich zu machen, hält man an den Faden ein Stück weißen Papiers, auf welchem man nach dem Schlage einen breiten Streifen von brauner Farbe sieht.

Schlechte Leiter, welche den Weg des Entladungsschlages unterbrechen, werden, wenn die Anhäufung der Elektricität bedeutend genug ist, zertrümmert oder durchlöchert. Eine Holzscheibe z. B., welche 3 bis 4 Zoll Durch-

meſſer hat und 3 bis 5 Linien dick iſt, wird von dem Entladungsſchlage durchbohrt. Ebenſo ein oder mehrere Kartenblätter, Pappendeckel u. ſ. w. Um den Verſuch zu machen, bringt man den zu durchlöchernden Körper zwiſchen die beiden Kugeln des Henley'ſchen Entladers und zwar ſo, daß dieſe Kugeln den eingeſchobenen Körper berühren.

Fig. 88.



Um eine Glasplatte zu durchſchlagen, muß man dafür ſorgen, daß die Elektricität möglichſt an einem Punkte concentrirt werde, die Glasplatte muß deshalb zwiſchen zwei einander genau gegenüberſtehenden leitenden Spitzen befeſtigt ſeyn. Man kann zu dieſem Zwecke den Apparat Fig. 88 anwenden. Die Glasplatte wird, bevor man ſie in den Apparat einſetzt, mit einer dünnen Oelſchicht überzogen. Am einfachſten läßt ſich dieſer Verſuch ſo einrichten, daß man zwei Stecknadeln, die Spitzen einander zugekehrt, mit Hülfe von Wachs auf den beiden Seiten der Glasplatte befeſtigt und dieſe Vorrichtung ſo in den Henley'ſchen Auslader einſchaltet, daß die Knöpfe der Stecknadeln mit den Kugeln *d* und *f* des Ausladers in Berührung kommen.

Fig. 89.

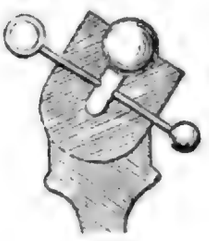
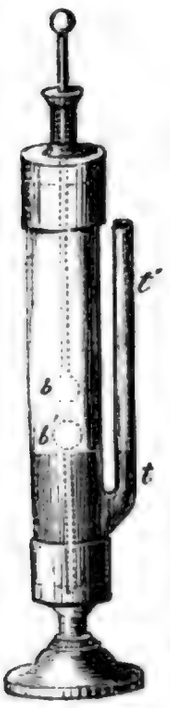


Fig. 90.



Wenn man die Elektricität in einer Flüſſigkeit überſchlagen läßt, ſo erſcheint der Funken wie in der Luft; auch das Knacken wird gehört, faſt immer aber wird die Flüſſigkeit mit großer Gewalt auseinandergeſchleudert. Wenn man eine Glasröhre mit Waſſer füllt und ſie an beiden Enden mit Korkſtopfen verſchließt, durch welche die Drähte hindurchgehen, zwiſchen welchen der Funken im Waſſer überſpringen ſoll, ſo wird die Röhre durch den Entladungsſchlag in der Regel zertrümmert.

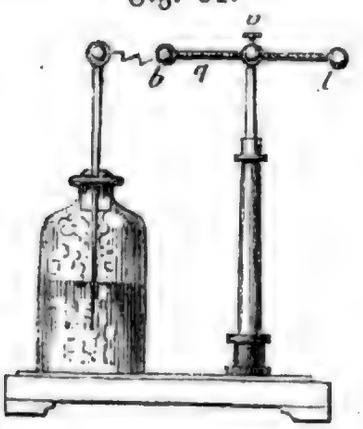
In Gaſen bringt der elektriſche Funken eine ſo große und plötzliche Expanſion hervor, daß ſie eine kleine Kugel mit Hülfe des elektriſchen Mörſers, Fig. 89, fortſchleudern kann. Kinnersley, welcher zuerſt dieſe merkwürdige Erſcheinung beobachtete, conſtruirte auch einen Apparat, um ihre Intenſität zu beſtimmen. Kinnersley's Thermometer iſt Fig. 90 abgebildet und wohl ſchon aus der Figur ohne weitere Erklärung ver-

ständlich; wenn zwischen den Kugeln *b b'* ein Funken überschlägt, steigt die Flüssigkeit in der Röhre *t t'*. Die Höhe des Steigens ist ein Maaß für die Expansion des Gases.

Auf der Oberfläche einiger Körper läßt der Funken einen Lichtschweif zurück, welcher mehrere Sekunden, ja oft über eine Minute lang leuchtet. Auf Kreide ist dieses phosphorische Licht roth oder violet, auf Zucker und krystallisirtem Kalkspath grünlich.

Eine für quantitative Untersuchungen vortreffliche Vorrichtung hat Lane angegeben. Auf demselben Fuße (Fig. 91), auf welchem die Flasche steht, ist ein vertikaler Stab befestigt, durch dessen oberes Ende ein horizontales mit zwei Kugeln endigendes Messingstäbchen hindurchgeht. Mit Hülfe der Schraube *v* kann man die Kugel *b* der Kugel der Flasche beliebig nähern und von derselben entfernen; der Stab *b l* ist eingetheilt, so daß man jederzeit mit Genauigkeit die Entfernung der Kugel *b* von der Kugel der Flasche ermitteln kann.

Fig. 91.



Der horizontale Stab *b l* steht mit der äußeren Belegung der Flasche durch den vertikalen Stab in vollkommen leitender Verbindung.

Wenn man die Kugel *b* in einer bestimmten Lage festgestellt hat, so wird der Funken überspringen, wenn die Ladung der Flasche eine gewisse Größe erreicht hat; so oft nun bei unveränderter Stellung der Kugel *b* eine Entladung der Flasche stattfindet, kann man überzeugt seyn, daß sie bis zu derselben Gränze geladen war.

Die Entfernung, auf welche der Entladungsfunken überspringt, die Schlagweite, ist ein Maaß für die Ladung der Flasche. Lane fand, daß bei gleichmäßigem Drehen der Elektrisirmaschine, welche die Flasche ladet, die Entladungen noch einmal so häufig sind, wenn die Kugel *b* nur $^1/_2$''' weit von der Kugel entfernt war, als wenn diese Entfernung 1''' betrug. Harris und Rieß bestätigten dies und fanden ferner, daß die Schlagweite einer Flasche oder einer Batterie überhaupt der Dichtigkeit der angehäuften Elektricität proportional sey, daß also für eine Batterie von 2, 3, 4 u. s. w. ganz gleichen Flaschen eine 2-, 3-, 4mal so große Elektricitätsmenge zugeführt werden muß, als einer einzigen dieser Flaschen, wenn die Schlagweite unverändert bleiben soll.

Rieß wendet die Lane'sche Flasche an, um die Quantität der Elektricität zu messen, mit welcher eine Batterie geladen wird. Zu diesem Zwecke stellte er die Batterie auf ein durch Glasfüße isolirtes Gestell und setzte die äußere Belegung der Batterie mit der inneren der Lane'schen Flasche, die

äußere Belegung der Lane'ſchen Flaſche aber mit einer großen uniſolirten Metalloberfläche in leitende Verbindung. Wird nun der Batterie von dem Conductor der Elektriſirmaſchine Elektricität zugeführt, ſo wird die abgeſtoßene poſitive Elektricität von der äußeren Belegung der Batterie zur inneren Belegung der Lane'ſchen Flaſche wandern und dadurch eine Ladung derſelben bewirkt werden; hat aber dieſe Ladung eine gewiſſe Gränze erreicht, ſo folgt eine Entladung der Lane'ſchen Flaſche. So oft nun bei fortgeſetztem Drehen der Maſchine eine Entladung der Lane'ſchen Flaſche erfolgt, ſo oft iſt von der äußeren Belegung der Batterie dieſelbe Menge poſitiver Elektricität zu der Maaßflaſche übergegangen, ſo oft iſt alſo auch die Ladung der Batterie um eine gleiche Elektricitätsmenge vermehrt worden, die Ladung der Batterie iſt alſo der Anzahl der Selbſtentladungen der Maaßflaſche proportional.

Nachdem ſich Rieß auf dieſe Weiſe ein genaues Maaß für die Ladung der Batterie verſchafft hatte, konnte er auch über die Wirkungen des Entladungsſchlages genauere Verſuche anſtellen.

Um die Geſetze der Erwärmung dünner Drähte durch den Entladungsſchlag zu ermitteln, wandte er ein ſchon von Harris zu dieſem Zwecke conſtruirtes Luftthermometer an, durch deſſen Kugel ein dünner Platindraht hindurchging, welcher in den Weg des Entladungsſchlages eingeſchaltet wurde. Aus einer Reihe von Verſuchen, bei denen bald die Größe der Ladung, bald die Anzahl der Flaſchen (die aber alle unter ſich gleich waren) verändert wurde, ergab ſich, daß die Erwärmung des Drahtes dem Quadrate der Elektricitätsmenge proportional iſt, mit welcher die Batterie geladen iſt, ſich aber umgekehrt wie die Oberfläche verhält, auf welche dieſe Elektricitätsmenge vertheilt war. Wenn alſo eine und dieſelbe Flaſche oder eine und dieſelbe Batterie mit der doppelten, dreifachen u. ſ. w. Elektricitätsmenge geladen wird, ſo iſt die Erwärmung, welche der Entladungsſchlag in einem dünnen Drahte hervorbringt, 4mal, 9mal u. ſ. w. ſo groß. Wenn man aber 2, 3 u. ſ. w. gleiche Flaſchen mit derſelben Elektricitätsmenge ladet, ſo wird die Erwärmung des Drahtes durch den Entladungsſchlag 2mal, 3mal u. ſ. w. geringer ſeyn, als wenn mit derſelben Elektricitätsmenge nur eine ſolche Flaſche geladen geweſen wäre.

Rieß fand ferner, daß die Temperaturerhöhungen verſchiedener gleich langer Drähte deſſelben Metalls ſich umgekehrt verhalten wie die Biquadrate ihrer Halbmeſſer oder, daß die in den Drähten frei gewordenen Wärmemengen den Querſchnitten derſelben umgekehrt proportional ſind.

In einem 2mal, 3mal u. ſ. w. dickeren Drahte wird alſo derſelbe Entladungsſchlag eine 16mal, 81mal u. ſ. w. geringere Temperaturerhöhung hervorbringen; da aber die Maſſen dieſer Drähte 4mal, 9mal größer ſind, ſo iſt klar, daß die in denſelben frei werdende Wärmemenge

4mal, 9mal u. ſ. w. geringer iſt als in einem Drahte von einfacher Dicke.

Wenn dieſelbe Elektricitätsmenge in derſelben Zeit durch Dräthte gleichen Stoffes entladen wird, ſo iſt nach Rieß ihre Erwärmung von der Länge des Drahtes unabhängig, im Falle aber durch die Verlängerung des Schließungsbogens die Entladung verzögert wird, iſt die Erwärmung der Dauer der Entladung umgekehrt proportional.

Wenn man eine Leidner Flaſche entladen hat und ſie dann nur ganz kurze Zeit ſtehen läßt, ſo giebt ſie einen zweiten freilich weit ſchwächeren Entladungsſchlag. Der Grund davon iſt wohl der, daß der Ueberſchuß von Elektricität, welcher ſich auf der inneren Belegung befindet, eine neue Ladung veranlaßt. Die Elektricität bleibt nicht bloß auf den metalliſchen Belegungen der Leidner Flaſche, ſondern ſie geht zum Theil auf die Oberfläche des Glaſes über. Daß die Sache wirklich ſo ſey, läßt ſich an einer Flaſche zeigen, deren Belegungen man wegnehmen kann. Eine ſolche Flaſche iſt Fig. 92 dargeſtellt. Nachdem man ſie geladen hat, nehme man die innere Belegung heraus und entlade ſie vollſtändig. Dann hebe man das Glasgefäß aus der äußern Belegung und nehme auch dieſer alle ihre Elektricität. Setzt man nun das Glas wieder in die äußere Belegung und die innere in das Glas, ſo findet man, daß die Flaſche noch zum Theil geladen iſt, und dieſe Ladung hatte offenbar auf den gegenüberſtehenden Oberflächen des Glasgefäßes gehaftet.

Fig. 92.

Geſchwindigkeit der Elektricität. Mit Hülfe der Leidner Flaſche 44
hat man die Geſchwindigkeit zu beſtimmen geſucht, mit welcher ſich das elektriſche Fluidum durch die Körper verbreitet. Iſolirte Metalldräthte, die eine Geſammtlänge von einer halben Meile haben, werden von dem Entladungsſchlage momentan durchlaufen. Dieſe Verſuche wurden in England und Frankreich in den Jahren 1745 bis 1750 angeſtellt. In dieſer Zeit ſtellte man auch Verſuche über die Fortpflanzung der Elektricität im Waſſer und in feuchtem Boden an. Von einem gegebenen Punkte ausgehend, wurde ein mehrere hundert Toiſen langer Metalldraht, durch Pflöcke von trocknem Holze iſolirt, über ein Terrain von ſehr abwechſelnder Natur und über Flüſſe hinweggeleitet und das entfernte Ende in den Boden geſteckt. Am Ausgangspunkte wurde eine geladene Flaſche auf den Boden geſtellt und mit dem einen Ende des Drahtes der Knopf berührt. Der elektriſche Schlag ging durch die ganze Länge des Drahtes hindurch, ging dann in den Boden über, um in demſelben zur äußeren Belegung der Flaſche zurückzukehren.

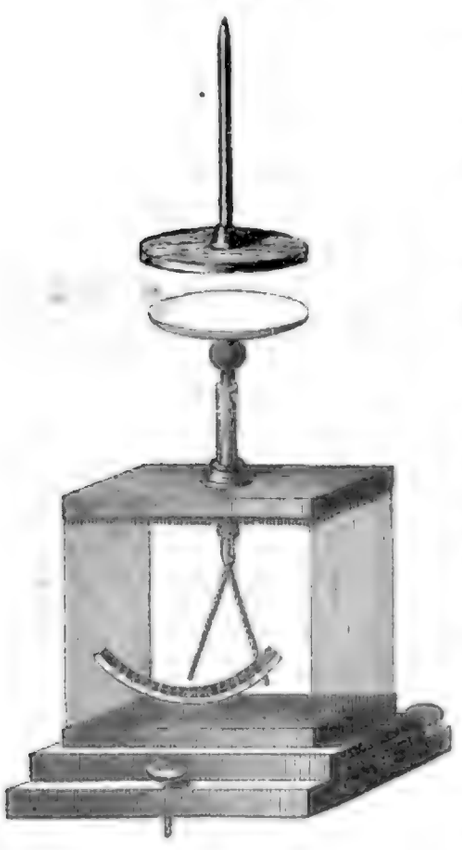
Der Länge des Weges und der mannigfachen Hinderniſſe ungeachtet, erfolgte die Entladung der Flaſche ebenſo momentan, als ob man

einen gewöhnlichen Auslader angewendet hätte. Näheres Seite 111.

45 **Die Lichtenbergischen Figuren**, welche einen charakteristischen Unterschied zwischen den beiden Elektricitäten anzudeuten scheinen, lassen sich besonders gut mit der Leidner Flasche darstellen. Man lade die innere Belegung mit positiver Elektricität und lasse dann einen Funken vom Knopf auf eine dünne Harzscheibe schlagen. Wenn man dann die Harzscheibe mit einem Staube pudert, welcher geneigt ist, die negative Elektricität anzunehmen (wie semen lycopodii, pepulvertes Colophonium u. s. w.), so zeigt der Staub die Form eines strahlenförmigen Sternes. Ladet man aber die innere Belegung mit negativer Elektricität, läßt man auf eine zweite Harzscheibe den negativen Funken vom Knopfe überschlagen, so bildet der aufgepuderte Staub strahlenlose Ringe oder Zonen. Man bedient sich zu den negativen Figuren am besten eines Staubes, der leicht positiv elektrisch wird wie fein zerriebener Mennig.

46 **Der Condensator.** Eigentlich ist jeder Apparat ein Condensator, in welchem gebundene Elektricität angehäuft wird, also auch die Franklin'sche Tafel und die Leidner Flasche. Man wendet jedoch diese Benennung nur für solche Apparate an, welche dazu dienen, Elektricität von sehr geringer Spannung durch Verdichtung merklich zu machen. Im Wesentlichen bestehen alle Condensatoren aus zwei leitenden Platten, welche durch eine nichtleitende Schicht getrennt sind. Indem wir die unvollkommeneren Instrumente der Art übergehen, soll hier nur von dem Condensator die Rede seyn, wie man ihn in Verbindung mit dem Goldblattelektrometer anwendet. Auf das Goldblattelektrometer wird eine Metallplatte aufgeschraubt, wie man sie Fig. 93 sieht. Diese Platte ist möglichst eben abgeschliffen und auf ihrer obern Fläche mit einer ganz dünnen Schicht von Firniß versehen; dieser Firniß, durch Auflösen von Schellack in Weingeist erhalten, wird, noch sehr leichtflüssig, mit einem Pinsel aufgetragen und trocknet dann sehr rasch. Eine zweite auf dieselbe Weise präparirte Platte, welche mit einem isolirenden Stiele versehen ist, wird nun mit ihrer gefirnißten Fläche auf die andere gesetzt, so daß die beiden Metallplatten nur durch die dünne Firnißschicht getrennt sind, sonst aber so

Fig. 93.



vollkommen als nur immer möglich auf einander paſſen. Dieſe Anordnung entſpricht der Franklin'ſchen Tafel vollkommen, die Glasplatte iſt durch die dünne Schellackſchicht erſetzt, die Platten dienen ſtatt der Belegungen, nur kann man hier die obere Platte nach Belieben abheben, während die beiden Belegungen der Franklin'ſchen Tafel feſt ſind. Weil die iſolirende Schicht ſo außerordentlich dünn iſt, die Platten alſo einander ſehr nahe ſind, ſo iſt hier eine ſehr vollſtändige Bindung möglich. Bringt man die untere Condenſatorplatte mit einer ſchwachen Elektricitätsquelle in Berührung, während man die obere ableitend mit dem Finger berührt, ſo wird der Condenſator ganz auf dieſelbe Weiſe geladen, wie die Leidner Flaſche, deren äußere Belegung nicht iſolirt iſt, während die innere mit dem Conductor der Maſchine in Verbindung ſteht. Der ganze Unterſchied liegt nur darin, daß man ein Mal eine Elektricitätsquelle von großer, das andere Mal eine ſolche von geringer elektriſcher Spannung hat; in beiden Fällen aber findet auf gleiche Weiſe eine Verdichtung der E Statt.

Iſt der Condenſator geladen, ſo wird die obere Platte abgehoben (und zwar möglichſt vertikal, damit die Berührung beider Platten in allen Punkten in demſelben Moment aufgehoben wird); dadurch wird die bis dahin gebundene E der untern Platte frei, ſie geht in die Goldblättchen hinab und bewirkt ihre Divergenz. Weiter unten, bei der Lehre vom Galvanismus, werden wir zahlreiche Anwendungen dieſes Condenſators kennen lernen.

Fünftes Kapitel.

Vom elektriſchen Lichte und den Bewegungen elektriſirter Körper.

Die ſtärkſten elektriſchen Entladungen, welche auf einem Körper angehäuft ſind, geben nie auch nur den geringſten Lichtſchein von ſich, ſo lange das elektriſche Gleichgewicht beſteht und die elektriſchen Flüſſigkeiten in Ruhe ſind. Die erſte Bedingung für die Erſcheinung des elektriſchen Lichtes iſt alſo Bewegung der Flüſſigkeiten und Störung des Gleichgewichtes. Dieſe Bedingung iſt immer nöthig, aber keineswegs hinreichend; es bedarf nämlich außerdem noch, daß die Spannung, welche das elektriſche Ausſtrömen bedingt, hinlänglich groß ſey. Während z. B. die Elektricität einer weniger kräftigen Maſchine durch einen Metalldraht in den Boden überſtrömen kann, ohne daß man ein Leuchten im Dunkeln wahrnimmt, ſieht man bei Anwendung ſtarker Maſchinen den Draht mit einem hellen Schein umge- 47

ben. Die zur Hervorbringung des elektrischen Lichtes nöthige Spannung hängt von dem Zustande, der Gestalt und der Leitfähigkeit der Mittel ab, durch welche sich die Elektricität bewegen muß. Manchmal geben ganz schwache Spannungen ein helles Licht, in anderen Fällen reichen wieder die stärksten Spannungen nicht hin, den geringsten Lichtschein zu geben.

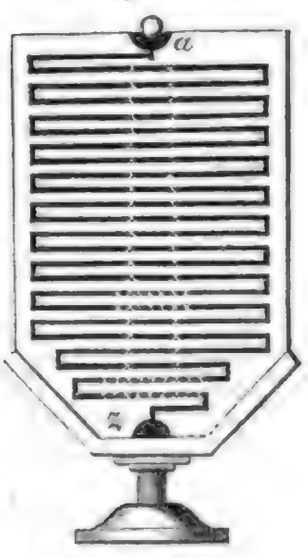
48 **Das elektrische Licht in der Luft und in anderen Gasen unter dem Drucke der Atmosphäre.** Die Schlagweite, auf welche hin man aus einem elektrisirten Körper einen Funken ziehen kann, hängt von der Leitfähigkeit der Substanz, von der Größe ihrer Oberfläche und von der Stärke der elektrischen Ladung ab. Aus eckigen Körpern und aus Spitzen strömt die Elektricität von selbst, schon bei ganz schwacher Spannung, aus, und man beobachtet dabei im Dunkeln glänzende Lichtbüschel, die oft mehrere Zoll lang sind. Bei runden Körpern sind schon sehr starke Ladungen nöthig, wenn von selbst Funken hervorspringen sollen; wenn man ihnen aber einen mit dem Boden in Verbindung stehenden Leiter nähert, so springen Funken, nach Umständen selbst auf große Entfernungen über, die dann einen dem Blitz ähnlichen Zickzack bilden.

Um die Funken zu vervielfältigen, muß man den Leiter, durch welchen die Elektricität in den Boden überströmt, oft unterbrechen, darauf beruhen mehrere Spielereien.

Mit Metallperlen, die auf einen Seidenfaden aufgereiht sind, jedoch so, daß jede Perle von der folgenden durch Knoten mehrere Millimeter weit entfernt gehalten wird, kann man Namenszüge und allerlei Figuren bilden, welche so lange leuchten als man die Maschine dreht, von deren Conductor die Elektricität durch diese Kette in den Boden strömt.

Fig. 94.

Fig. 95.



Blitzröhren sind Glasröhren, auf welchen man rautenförmige Staniolblättchen so aufgeklebt hat, daß ihre einander zugekehrten Spitzen etwa so nahe stehen, wie man Fig. 94 sieht. Gewöhnlich klebt man sie so auf, daß sie eine um die Röhre laufende Schraubenlinie bilden. Wenn man das eine Ende einer solchen Röhre in der Hand haltend, das andere an den Conductor der Maschine bringt, während sie gedreht wird, so sieht man im Dunkeln fortwährend zwischen je zwei Rauten Funken überspringen, so daß eine fast zusammenhängende Lichtlinie auf der Röhre erscheint.

Eine Blitztafel ist Fig. 95 dargestellt. Auf einer Glastafel ist eine Reihe von Staniolstreifen aufgeklebt, wie man es in der Figur sieht, so daß

von *a* bis *z* eine metallische Leitung ginge, wenn sie nicht an den mit × bezeichneten Stellen unterbrochen wäre. Wenn man nun *z* mit der äußeren Belegung einer Leidner Flasche in Verbindung bringt und dann eine leitende Verbindung zwischen *a* und dem Knopfe der Flasche herstellt, so springen gleichzeitig an allen Unterbrechungsstellen Funken über. Man kann auf diese Weise Namenszüge und allerlei Figuren darstellen.

Man hat diese Spielereien noch auf mannigfache Weise abgeändert, diese Beispiele mögen jedoch genügen.

Der Lichtbüschel, welchen man im Dunkeln beobachtet, wenn man auf dem Conductor der Elektrisirmaschine eine Spitze aufsetzt, von welcher die Elektricität ausströmt, ist Fig. 96 dargestellt. Die negative (Harz-) Elektricität giebt niemals so divergente und große Lichtbüschel wie die positive. Dieses merkwürdige Phänomen ist sehr beachtungswerth, weil es einen unterscheidenden Charakter der beiden elektrischen Flüssigkeiten darzubieten scheint.

Fig. 96.

Wenn man eine Metallspitze in die Hand nimmt und sie dem Conductor der Maschine nähert, so beobachtet man auch den Lichtbüschel.

In verdichteter atmosphärischer Luft ist der Funken einer Elektrisirmaschine sehr lebhaft, in Kohlensäuregas weiß und intensiv, in Wasserstoffgas roth und schwach, in Wasserdampf gelb, in Alkohol und Aetherdampf apfelgrün.

Die Lichterscheinungen der Maschinenelektricität sind eine treue, wenn auch schwache Nachbildung der elektrischen Lufterscheinungen, welche man bei Gewittern beobachtet. Wir werden in der Meteorologie auf diesen Gegenstand zurückkommen.

Elektrisches Licht im verdünnten Raume. Wenn eine an beiden 49
Enden mit Metallfassungen versehene mehrere Fuß lange Glasröhre luftleer gemacht ist und man das eine Ende mit dem Conductor der Maschine, das andere mit dem Boden in Verbindung setzt, so sieht man im Innern derselben ein lebhaftes Leuchten. Da die Elektricität in der verdünnten Luft nur einen schwachen Widerstand findet, so breitet sie sich in der ganzen Röhre aus und bezeichnet den Weg, den sie zurücklegt, durch Feuerstreifen. Wenn die Verbindung gehörig unterhalten wird, so erscheint das Licht fest und gleichförmig; wenn man aber von außen her einen leitenden Körper nähert, so wird das Licht nach dieser Seite hingezogen und wird zugleich heller.

Man nimmt zu diesem Versuche gewöhnlich gerade, mehrere Zoll weite Glasröhren. Eine etwas andere Form dieses Apparates ist Fig 97 (a. f. S.) dargestellt, das Glasgefäß ist nämlich von elliptischer Form. An beiden

Enden sind Metallfassungen angebracht; die Fassung auf der einen Seite ist mit einem Hahn versehen und kann auf eine Luftpumpe aufgeschraubt werden. Die Fassung der andern Seite ist mit einer Lederbüchse versehen, durch welche der mit dem Knopf b' endigende Messingdraht hindurchgeht, so daß man den Knopf b' nach Belieben dem Knopf b nähern kann. Wenn man den Apparat möglichst luftleer gemacht hat, so strömt die Elektricität leicht über und erfüllt das ganze Gefäß mit Licht. Wenn man durch den Hahn etwas Luft einströmen läßt, so wird das Licht weniger diffus und bildet purpurfarbene Lichtbogen zwischen b und b'. Jemehr Luft man einläßt, desto mehr nimmt die Ausdehnung der Lichterscheinung ab, sie nähert sich mehr und mehr der Form des gewöhnlichen elektrischen Funkens.

Fig. 97.

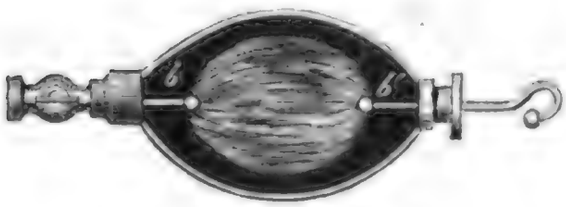
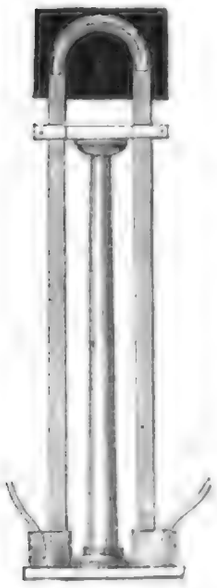


Fig. 98.

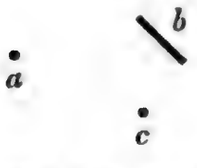


Auch die toricellische Leere durchströmt die Elektricität mit Lichterscheinung.

Picard bemerkte zuerst, daß ein Barometer im Dunklen leuchtet, wenn das Queckſilber auf und nieder schwankt, und bald überzeugte man sich, daß diese Erscheinung von der durch die Reibung des Queckſilbers an den Wänden der Röhre entwickelten Elektricität herrühre. Um das elektrische Licht in der toricellischen Leere zu beobachten, construirte Cavendish das Fig. 98 dargestellte Doppelbarometer, dessen Anwendung wohl ohne weitere Erklärung verständlich ist.

Ueber die Dauer des elektrischen Lichtes hat Wheatstone wichtige Untersuchungen angestellt. In Fig. 99 sey a ein leuchtender Punkt, etwa eine Kerze, b sey ein ebener Spiegel, dessen Ebene vertikal steht, und welcher um eine vertikale Axe drehbar ist, c endlich sey das Auge des Beobachters; $a\,b\,c$ sollen in einer Horizontalebene liegen. Wenn der Spiegel ruhig steht, sieht das Auge c das Bild des Punktes a im Spiegel b an einer bestimmten Stelle, die sich ändert, wenn der Spiegel gedreht wird; ist die Drehung rasch genug, so erscheint statt des Kerzenbildes ein Lichtstreif, indem der Lichteindruck von alle den Stellen, welche das Kerzenbild nach und nach durchläuft, nach einer Zeitlang im Auge noch wirkt, und man so den Lichteindruck von den früheren Stellungen des Bildes noch wahrnimmt, während es schon an einer ganz andern Stelle angekommen ist.

Fig. 99.



Wenn man nun dafür sorgt, daß an der Stelle der Kerze ein elektrischer Funken überspringt, so wird bei rascher Rotation des Spiegels das Bild des Funkens ebenfalls in die Länge gezogen erscheinen, wenn der elektrische Funken nur eine ganz geringe Dauer hat.

Der Spiegel war an einen rotirenden Apparat so befestigt, daß er 50 Umdrehungen in einer Sekunde machte; um einen Bogen von 1^0 zu durchlaufen, brauchte also der Spiegel $\frac{1}{50.360}$tel und also um einen Winkel von $\frac{1}{2}^0$ zu durchlaufen $\frac{1}{36000}$tel Sekunde. Nun aber ist den Lehren der Optik zufolge die Winkelgeschwindigkeit des Bildes doppelt so groß als die des Spiegels, folglich legt das Bild in $\frac{1}{72000}$ tel Sekunde einen Bogen von $\frac{1}{2}$ Grad zurück, wenn also die Dauer des elektrischen Funkens auch nur $\frac{1}{72000}$tel Sekunde betrüge, so müßte schon sein Bild im rotirenden Spiegel als ein $\frac{1}{2}^0$ breiter Streifen erscheinen.

Nach einander bot nun Wheatstone in einer Entfernung von 10 Fuß dem Spiegel 4 Zoll lange Funken einer Elektrisirmaschine dar, ferner Entladungen einer Leidner Flasche, ein 4 Fuß langes Glasrohr, worin der elektrische Funken längs einer schraubenförmigen Reihe von Scheibchen aus Zinnfolie überspringen mußte, ein luftleeres Glasrohr von 6′ Länge, in welchem der Funken beim Durchgang eine ununterbrochene Linie von geschwächtem elektrischen Lichte erzeugte u. s. w. Allein in allen diesen Fällen erschienen die reflectirten Bilder, wenn sie innerhalb des Gesichtsfeldes auftraten, vollkommen umgeändert und genau auf eben die Weise, als ob sie von dem ruhenden Spiegel reflectirt worden wären.

Die Dauer eines solchen elektrischen Funkens beträgt also sicherlich nicht $\frac{1}{72000}$tel Sekunde.

Wenn ein Rad rasch umgedreht wird, so kann man die einzelnen Speichen nicht mehr unterscheiden, wenn aber ein rasch rotirendes Rad in einem dunklen Zimmer plötzlich durch einen elektrischen Funken erleuchtet wird, so unterscheidet man die einzelnen Speichen deutlich, als wenn das Rad ganz in Ruhe wäre.

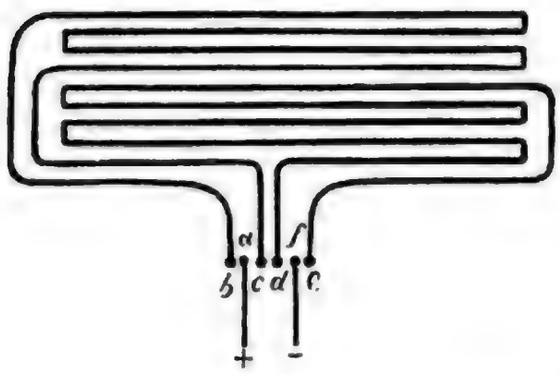
Hält man eine evacuirte Röhre nahe an den Conductor der Elektrisirmaschine, so erblickt man zuweilen einen zusammenhängenden Lichtstrom, untersucht man aber denselben in dem Spiegel, so findet man, daß diese Continuität nur scheinbar ist und von einer raschen Folge vorübergehender Blitze herrührt.

Wheatstone wandte den rotirenden Spiegel auch an, um die Geschwin-

digkeit zu ermitteln, mit welcher die Elektricität einen sehr langen Leiter durchläuft. Die Vorrichtung, die er dazu angewandt hat, war ungefähr folgende:

Auf einem $3\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser haltenden Brett, dem Funkenbrett, waren 6 Kugeln, *a b c d e* und *f* (Fig. 100) gehörig isolirt befestigt. An

Fig. 100.



der Kugel *a* war ein Draht befestigt, welcher mit der innern Belegung einer Leidner Flasche in Verbindung gebracht werden konnte; die Kugel *b* war von *a* um 0,1 Zoll entfernt, von *b* aber führte ein Draht in vielen Windungen nach der Kugel *c*. Die Kugel *d* war nun ebenfalls 0,1 Zoll von *c* entfernt, und von *d* führte ein gleichfalls vielfach gewundener Draht zur Kugel *e*, welcher in einer Entfernung von 0,1 Zoll die Kugel *f* gegenüberstand, von welcher endlich ein Draht zur äußeren Belegung der Flasche führte. Wenn nun der letzterwähnte Draht wirklich die äußere Belegung der geladenen Flasche berührt, so mußte, wenn man mit dem an *a* befestigten Drahte die Kugel der Flasche berührte, ein Funken zwischen *a* und *b*, ein zweiter zwischen *c* und *d*, ein dritter zwischen *e* und *f* überspringen.

Es fragt sich nun, sind diese 3 Funken vollkommen gleichzeitig, auch wenn die Länge der Drahtwindungen sehr bedeutend ist?

Bei den von Wheatstone angestellten Versuchen betrug die Länge der Drahtwindungen zwischen *b* und *c* $\frac{1}{4}$ englische Meile. Ebenso lang war die Länge des Drahtes zwischen *d* und *e*, so daß der Weg, welchen der elektrische Strom von der inneren zu der äußeren Belegung zu durchlaufen hatte, $\frac{1}{2}$ englische Meile betrug.

Die 6 Kugeln des Funkenbrettes lagen in einer horizontalen Linie.

Zehn Fuß vom Funkenbrett entfernt in gleicher Höhe mit demselben war nun der Apparat mit dem rotirenden Spiegel angebracht. Diesmal war die Rotationsaxe wagerecht und den 6 Kugeln parallel. Der Beobachter stellte sich so, daß die Rotationsaxe gerade gegen ihn gerichtet war, und sah dann von oben auf den Spiegel herab. Die Kugeln oder vielmehr die zwischen ihnen überspringenden Funken waren also sichtbar, wenn der Spiegel gerade einen Winkel von 45° mit der Horizontalen machte. Wäre der Spiegel in dieser Stellung ruhig stehen geblieben, so würde man die Bilder der drei Funken so ⋮ gesehen haben, bei rascher Rotation aber erscheinen alle drei in die Länge gezogen, und außerdem erschien die mittlere noch gegen die äußeren verrückt und zwar so ═══, wenn der

Spiegel von der rechten zur linken rotirte, und so ⟍⟋, wenn die Richtung der Rotation die entgegengesetzte war.

Daraus ergeben sich nun folgende wichtige Resultate:

1) wenn der Entladungsdraht sehr lang ist, so erfolgt keine momentane, sondern eine successive Entladung, weshalb die Funken in die Länge gezogen erscheinen.

2) Da die beiden äußeren Funken im Spiegelbilde ihre gegenseitige Lage behalten, so erscheinen also die beiden äußeren Funken vollkommen gleichzeitig, der elektrische Strom beginnt also gleichzeitig von den beiden Belegungen gegen die Mitte des Entladungsdrahtes hin, der mittlere Funken erscheint aber später, da sein Bild gegen das der äußeren Funken verrückt erscheint.

Bei diesem Rotationsapparate machte der Spiegel 800 Umdrehungen in der Sekunde, woraus folgt, daß, wenn der Funken nur einen Bestand von $\frac{1}{1152000}$ Sekunde hat, er um einen halben Grad verlängert erscheinen muß, also ungefähr so lang, wie ein Zoll in einer Entfernung von 10 Fuß erscheint.

Die Verschiebung des mittleren Funkenbildes gegen die äußeren betrug ungefähr $\frac{1}{2}^0$, der mittlere Funken erschien also ungefähr um $\frac{1}{1152000}$ Sekunde später als die beiden äußeren, in dieser Zeit hatte also der elektrische Strom einen Weg von $\frac{1}{4}$ englische Meile zurückgelegt, in einer Sekunde legt er also einen Weg von $\frac{1152000}{4} = 288000$ englischen Meilen zurück, eine Geschwindigkeit, welche größer ist, als die des Lichtes im Weltraum, welches in einer Sekunde nur 194000 englische Meilen durchläuft.

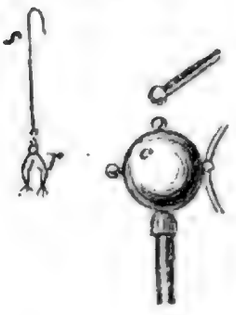
Bewegungen, welche durch das Ausströmen von Elektricität hervorgebracht werden. Die Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen sind bereits besprochen worden, es bleiben hier nur noch einige andere durch die Elektricität bewirkte Bewegungen zu betrachten. Auf eine leitende Spitze *c p*, Fig. 101, welche mit dem Conductor der Maschine in Verbindung steht, ist ein an beiden Enden nach entgegengesetzten Richtungen umgebogenes und zugespitztes Metallstäbchen *l l'* so aufgesetzt, daß es sich im Gleichgewicht befindet, aber sich leicht auf der Spitze in horizontaler Ebene umdrehen läßt. Ein solcher Apparat führt den Namen eines elektrischen Flugrades. Sobald die Maschine gedreht wird, beginnt das Flugrad zu rotiren, und wenn man es im Dunkeln beobachtet, sieht man an den Spitzen die Elektricität in Gestalt von Lichtbüscheln ausströmen.

Fig. 101.

Diese Bewegung wird durch das Ausströmen des elektrischen Fluidums aus den beiden Spitzen hervorgebracht und ist eine der Umdrehung der Segner'schen Wasserräder ganz analoge Erscheinung.

51 **Bewegungen durch den elektrischen Rückschlag.** Froschschenkel, die, wie Fig. 102 zeigt, in der Nähe des Conductors einer Elektrisirmaschine aufgehängt sind, scheinen gar keine Veränderung zu erleiden, wenn durch Drehen der Maschine der Conductor c mit $+E$ geladen wird; jedoch wird er durch Vertheilung elektrisch, die angezogene $-E$ sammelt sich bei r, die abgestoßene $+E$ entweicht durch den Draht s in den Boden. Sobald man nun aus dem Conductor c einen Funken zieht, bringt die plötzliche Wiedervereinigung der Elektricitäten in dem Froschschenkel Zuckungen hervor, ein Beweis, daß bei der Rückkehr in den natürlichen Zustand die Molekule der Körper durch den Druck der elektrischen Flüssigkeiten afficirt werden, welche sich wieder zu vereinigen streben. Diese Wirkungen werden mit dem Namen des Rückschlags bezeichnet. Mit einem Frosche, welcher schon 5 bis 6 Stunden getödtet ist, würde man den Versuch vergebens anstellen, er gelingt aber sehr gut mit einem eben getödteten oder noch besser mit einem noch lebenden.

Fig. 102.



In der Nähe einer kräftigen Maschine empfindet auch ein Mensch, der mit dem Boden in leitender Verbindung steht, ähnliche Schläge. Später, wenn von den Wirkungen des Blitzes die Rede seyn wird, werden wir sehen, daß eine Gewitterwolke durch einen directen Schlag und durch den Rückschlag wirken kann.

Sechstes Kapitel.

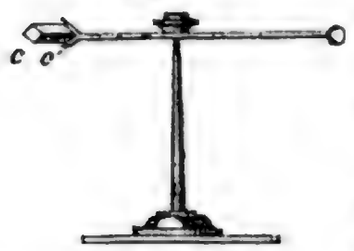
Elektricität, entwickelt durch Druck und Wärme.

52 Wir haben gesehen, daß, wenn man zwei Flächen durch Reiben an einander elektrisch macht, die eine positiv, die andere negativ elektrisch wird; wir haben ferner gesehen, daß die Tension der Elektricität, welche unter diesen Umständen entwickelt wird, von der Natur der Körper, dem Zustande der Oberflächen und ihrer Temperatur abhängt. Diese mechanische Ursache der Elektricitätsentwickelung ist jedoch nicht die einzige; durch Veränderungen des Drucks und der Temperatur wird ebenfalls Elektricität frei.

Elektricitätsentwickelung durch Druck. Wenn man eine Metallplatte auf ein Stück Wachstaffet setzt und sie an einem isolirenden Hand-

griff aufhebt, nachdem man etwas gedrückt hat, so findet man, daß die Metallscheibe negativ, der Taffet positiv elektrisch geworden ist. Dieser Versuch rührt von Libes her. Haüy hat gezeigt, daß auch viele Mineralien mit glatten und polirten Oberflächen durch Druck elektrisch werden. Ein Stück Kalkspath mit ebenen und parallelen Flächen z. B. wird, wenn man es etwas zwischen den Fingern drückt, ziemlich stark positiv elektrisch. Dasselbe findet auch beim Topas, dem Flußspath, dem Glimmer, dem Arragonit, dem Quarz und mehreren anderen Substanzen Statt, jederzeit hängt aber die entwickelte Elektricität von der Natur des drückenden Körpers ab. Haüy hat auch gefunden, daß die durch Druck elektrisch gewordenen Mineralien die Eigenschaft haben, mehrere Stunden, ja selbst mehrere Tage lang elektrisch zu bleiben. In dieser Hinsicht ist der Kalkspath ganz besonders merkwürdig, indem er selbst noch nach 11 Tagen entschiedene Zeichen von Elektricität giebt. Auf dieser Eigenschaft des Kalkspaths beruht die von Haüy construirte elektrische Nadel, welche Fig. 103 abgebildet ist. Sie ist der auf Seite 62 beschriebenen gewöhnlichen elektrischen Nadel ganz ähnlich, nur ist an dem einen Ende statt der Kugel von Metall ein Stückchen Kalkspath *c c'* befestigt, welches durch Drücken zwischen den Fingern elektrisch gemacht wird.

Fig. 103.



Elektricitätserregung durch Wärme. 53 Der Turmalin hat die Eigenschaft, leichte Körper anzuziehen und abzustoßen; in Indien, wo dies Mineral sehr verbreitet ist, kannte man diese Eigenschaft schon vor Jahrhunderten. Eine so auffallende Erscheinung konnte der Aufmerksamkeit der Reisenden und selbst der Kaufleute nicht entgehen; die Holländer machten diese merkwürdigen elektrischen Eigenschaften des Turmalins in Europa bekannt, wo sie bald von den Physikern näher untersucht wurden. Ganz besonders beschäftigten sich Canton, Priestley, Bergmann, Aepinus und Haüy damit. Folgende sind die wichtigsten Resultate ihrer Untersuchungen.

1) Ein durch Erwärmen elektrisch gemachter Turmalinkrystall zeigt an den beiden Enden seiner krystallographischen Hauptaxe zwei entgegengesetzte Pole, d. h. an einem Ende ist er positiv, am andern negativ elektrisch. Die elektrischen Flüssigkeiten sind also in dem Turmalin ungefähr auf die Weise vertheilt wie die magnetischen Fluida in einem Stahlstab.

2) Wenn man einen Turmalin, während er elektrisch ist, quer durchbricht, so hat jedes Stück wieder seine beiden Pole.

Für jeden Turmalin giebt es zwei Temperaturgränzen, zwischen welchen die elektrischen Erscheinungen stattfinden. Unterhalb und oberhalb dieser

Gränze verhält ſich der Turmalin wie jeder andere Körper, er zeigt keine elektriſche Polarität. Dieſe Temperaturgränzen ſind gewöhnlich 10° und 150°. Für Turmaline von gleichen Dimenſionen ſind dieſe Gränzen faſt dieſelben, ſie ändern ſich aber mit der Länge.

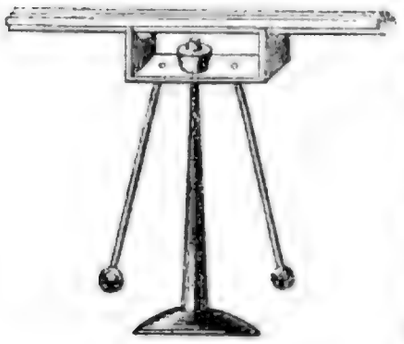
4) Wenn man einen Turmalin regelmäßig erwärmt, d. h. ſo, daß an allen Punkten ſeiner Oberfläche das Steigen der Temperatur daſſelbe iſt, ſo wird das eine Ende poſitiv, das andere negativ, und jeder Pol behält ſeine Elektricität, ſo lange die Temperatur ſteigt.

5) Wenn ein Turmalin durch Erwärmen elektriſch geworden iſt und darauf regelmäßig erkaltet, ſo verſchwindet für einen Augenblick alle Elektricität, dann kehrt ſich die Polarität um, d. h. derjenige Pol, welcher während des Erwärmens poſitiv war, wird jetzt negativ, der bisher negative wird poſitiv. Dann aber bleibt die Lage der Pole unverändert, ſo lange die Temperatur ſinkt.

6) Die polariſchen Eigenſchaften ſcheinen nur von dem Wechſel der Temperatur abzuhängen, ſo daß ein Turmalin bei einer gegebenen Temperatur ſich in drei verſchiedenen Zuſtänden befinden kann, nämlich im natürlichen Zuſtande, den er ſo lange behält, als ſich die Temperatur nicht ändert. Er hat eine beſtimmte Polarität, wenn die Temperatur im Steigen, die entgegengeſetzte, wenn ſie im Sinken iſt.

7) Haüy hat manchmal eine Umkehrung der Pole während des Erwärmens und während des Erkaltens beobachtet. Dieſe Erſcheinung, welche nicht immer ſtattfindet, hängt vielleicht von der verſchiedenen Temperatur der äußeren und inneren Schichten ab.

Fig. 104.



Um die hier beſprochenen elektriſchen Erſcheinungen des Turmalins zu unterſuchen, haben die meiſten Beobachter den zu unterſuchenden Kryſtall in einem Papierſchiffchen an einem Faden aufgehängt, ſo daß ſeine Längenaxe horizontal zu liegen kam; Haüy legte ihn auf den Fig. 104 dargeſtellten Apparat.

Es giebt noch manche andere Kryſtalle, welche ähnliche elektriſche Eigenſchaften haben wie der Turmalin.

Dritte Abtheilung.

Vom Galvanismus.

Erstes Kapitel.

Elektricitätsentwickelung durch Contact.

Entdeckung des Galvanismus. Im Jahre 1789 beobachtete 54
Aloysius Galvani, Professor der Medicin in Bologna, eine ganz eigenthümliche Erscheinung. Er hatte zum Zwecke verschiedener Untersuchungen Froschschenkel präparirt und hing sie zufällig mittelst kleiner Haken von Kupfer an einem eisernen Balcongeländer auf und sah, daß sie lebhafte Zuckungen machten. Ein gewöhnlicher Beobachter würde sich mit einer oberflächlichen Erklärung begnügt und sich alsbald wieder mit anderen Dingen beschäftigt haben. Galvani war weniger voreilig in seinem Urtheile; mit durchdringender Beobachtungsgabe und seltenem Scharfsinne ausgerüstet, erkannte er in dieser Erscheinung ein neues Princip und wurde so der Schöpfer eines der wichtigsten Zweige der Physik, welcher nach ihm den Namen Galvanismus führt.

Die Froschschenkel, an welchen Galvani seine Beobachtungen machte, waren in der Weise präparirt, wie man Fig. 105 sieht. Nachdem das eben getödtete Thier durchgeschnitten ist, wird von dem unteren Theile rasch die Haut abgezogen, und indem man die Spitze der Scheere unter die beiden Schenkelnerven bringt, welche auf jeder Seite der Wirbelsäule als weiße Fäden erscheinen, nimmt man mit zwei Schnitten die zwei oder drei untersten Rückenwirbel weg, so daß die Schenkelnerven bloß liegen und die unteren Glieder nur durch sie mit den oberen Wirbelknochen zusammenhängen. Galvani hatte den kupfernen Haken in der Wirbelsäule befestigt und beobachtete jedesmal eine Zuckung der Schenkel, so oft sie mit dem eisernen Geländer in Berührung kamen. So oft die Berührung erfolgt, biegen sich die Beine und bewegen sich, als ob sie noch Leben hätten. Diese Wirkungen beobachtet man selbst noch nach einigen Stunden, allein sie nehmen meistens schnell ab, und gewöhnlich beobachtet man 20 bis 30

Fig. 105.

Minuten nach dem Tode des Thieres nur noch sehr schwache Zuckungen der Muskeln.

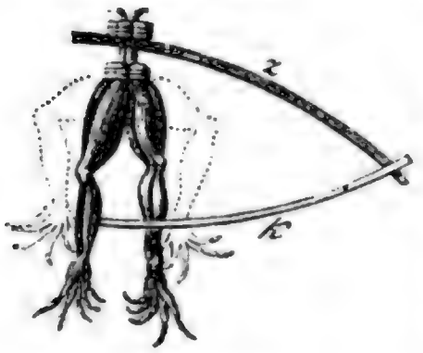
Indem Galvani genau die Umstände angab, unter welchen die Erscheinung erfolgt, hat er sie wohl von den unbestimmten convulsiviſchen Bewegungen unterschieden, welche man an Insekten, Reptilien und Fischen oft noch lange nach ihrer Verstümmelung beobachtet. Galvani, welcher sehr für die Idee eingenommen war, daß es eine besondere Nerven- oder Lebensflüssigkeit gebe, stand nicht an, von dem Phänomen eine Erklärung zu geben, welche er mit seinen Lieblingstheorien in Uebereinstimmung brachte. Die Zuckungen der Froschschenkel, sagte er, werden durch eine Flüssigkeit hervorgebracht, welche vermittelst einer äußeren Leitung von den Nerven zu den Muskeln überströmt; diese Flüssigkeit befindet sich in den Nerven, sie geht durch den Leitungsbogen, d. h. den Kupferhaken und das Eisen, hindurch und geht von demselben auf die Muskeln in dem Momente über, in welchem sie das Eisen berühren. Diese neue Flüssigkeit wurde die galvaniſche Flüſſigkeit genannt, und man dachte sich die organischen Körper in Beziehung auf diese Flüssigkeit ungefähr wie eine Leidner Flasche, deren Belegungen einerseits die Nerven, andererseits die Muskeln sind.

Der Lärm dieser Entdeckung verbreitete sich bald über Deutschland, Frankreich und England; überall beeilte man sich, die Versuche zu wiederholen und abzuändern; das Phänomen selbst erregte großes Erstaunen, aber die Hoffnung, in den organischen Körpern eine feine Flüssigkeit, ein Lebensprincip aufzufinden, steigerte die Neugierde der Gelehrten noch mehr. Außerdem erschienen diese Ideen gerade in einer Zeit großer Entdeckungen und Reformen, alle Geister waren in Bewegung und schienen durch den Reiz der Neuheit hingerissen.

Jede Hypothese ist gut, wenn sie zu Entdeckungen führt, und auch die Hypothese Galvani's hatte sich eine Zeitlang eines günstigen Erfolges zu erfreuen. Um sie aber fruchtbar zu machen, mußte man vage Betrachtungen zulassen und sich auf unbestimmte Thatsachen stützen; man mußte sich in die Fragen über die Functionen des Lebens und die Geheimnisse der Organisation verwickeln. Diese Fragen, welche die Menschen schon vielfach beschäftigt haben, aber wohl für immer unbeantwortet bleiben werden, kamen wieder sehr in Aufnahme, die besten Köpfe ließen sich hinreißen, und wer weiß, auf welchen Irrwegen man sich noch verloren hätte, wenn nicht bald ein Mann von kühnem Geiste diesen unnützen Versuchen ein Ende gemacht hätte. Dieser Mann war Alexander Volta, welcher schon damals durch mehrere wichtige Entdeckungen über Elektricität bekannt war. Volta, Professor zu Pavia, wiederholte Galvani's Versuche mit unermüdlicher Aufmerksamkeit und fand bald, daß ein zum

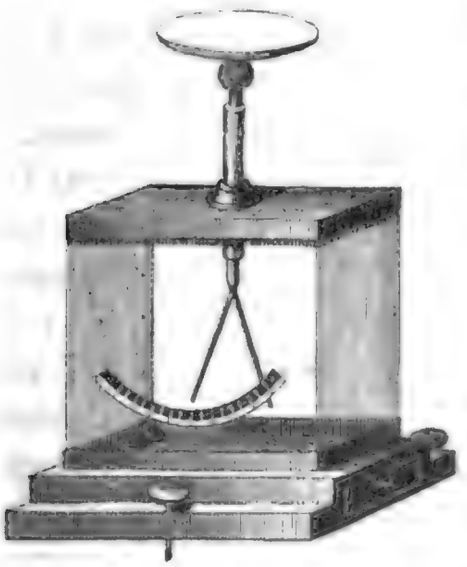
Gelingen des Versuchs sehr wichtiger Umstand bis dahin ganz übersehen worden war. Um nämlich eine starke Wirkung zu haben, ist es durchaus nöthig, daß der Leitungsbogen, welcher die Nerven und Muskeln verbindet, aus zwei verschiedenen Metallen besteht, welche mit einander in Berührung sind. Er stellte den Versuch an, wie man Fig. 106 sieht. Ein Theil, *z*, des Leitungsbogens ist Zink, der andere Theil, *k*, ist Kupfer. Beide Metalle müssen an der Stelle, wo sie sich einander berühren, und auch da, wo sie den Froschschenkel berühren, eine vollkommen metallische Oberfläche haben. Volta schloß aus seinen Versuchen, daß der Froschschenkel nicht wie eine Leidner Flasche zu betrachten sey; daß die hier wirkende Flüssigkeit weder in den Nerven, noch in den Muskeln, sondern durch den Contact der beiden Metalle entwickelt werde und daß sie mit dem gewöhnlichen elektrischen Fluidum vollkommen identisch sey. Volta's Ansichten wurden von Galvani und seinen Anhängern bekämpft, jede Partei suchte die Richtigkeit ihrer Theorie durch neue Versuche zu bekräftigen, endlich aber wurde doch Volta's Meinung allgemein als die richtige angenommen.

Fig. 106.



Directe Beweise für die Elektricitätsentwickelung durch Con- 55
tact. Die Idee, daß durch die bloße Berührung heterogener Körper Elektricität entwickelt werde, fand nur nach und nach Glauben; die Strenge der Wissenschaft verlangte directe und entscheidende Beweise, welche Volta auch bald gab. Diesen directen Beweis führte er mit Hülfe eines Apparates, den er selbst erst einige Jahre früher erfunden hatte, nämlich mit Hülfe des Condensators, den wir schon oben (Seite 104) kennen gelernt haben.

Fig. 107.



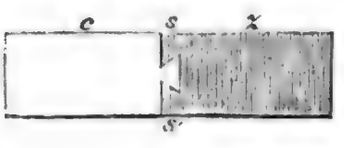
Der Versuch wird auf folgende Weise angestellt. Nachdem man sich überzeugt hat, daß der auf das Goldblattelektrometer, Fig. 107, geschraubte Condensator seine Ladung gut hält und, nachdem man ihn wieder in seinen natürlichen Zustand versetzt hat, setzt man die obere Platte durch Berührung mit dem Finger mit dem Boden in leitende Verbindung, während man die untere Platte mit einem Stücke Zink berührt, welches dadurch, daß man es in der

andern Hand hält, auch mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Es versteht sich von selbst, daß die Oberflächen der Condensatorplatten da, wo sie nicht mit einander in Berührung stehen, nicht gefirnißt seyn dürfen, denn sonst wäre ja kein metallischer Contact zwischen Zink und dem Messing (welches sich fast ganz so wie reines Kupfer verhält) der einen Condensatorplatte möglich. Zieht man nun, nachdem die Berührung nur einen Augenblick gedauert hat, den Finger von der oberen, das Zink von der unteren Platte zurück, hebt man darauf die obere Condensatorplatte ab, so erhält man eine merkliche Divergenz der Goldblättchen. Woher kommt diese Elektricität? Sie kann offenbar nur von dem Contact des Zinks und des Kupfers der unteren Condensatorplatte herrühren; hier ist es, wo eine besondere Kraft wirkt, um die elektrischen Fluida zu trennen und in Bewegung zu setzen; die positive Elektricität geht auf das Zink und von da in den Boden über, die negative hingegen wird auf die untere messingene oder kupferne Condensatorplatte getrieben und auf derselben gebunden, indem sie zersetzend auf die obere Platte wirkt. Wird nun die obere Platte abgehoben, so kann sich die in der unteren Platte gebundene $-E$ frei verbreiten und die Divergenz der Goldblättchen bewirken.

Wenn man den Versuch in der Weise wiederholt, daß man die obere Condensatorplatte mit dem Zink, die untere mit dem Finger berührt, so divergiren die Goldblättchen mit positiver Elektricität.

Wendet man statt des Zinks ein Stück desselben Metalls an, aus welchem die Condensatorplatten gemacht sind, so erhält man keine Wirkung; alle anderen Metalle aber bewirken eine Divergenz der Goldblättchen. Blei, Zinn, Eisen, Wismuth und Antimon werden, in Berührung mit Kupfer (Messing), wie das Zink $+$ elektrisch, laden also die Condensatorplatte, welche man mit ihnen berührt, mit $-E$; hingegen Gold, Silber, Palladium, Platin und Kohle bringen die entgegengesetzte Wirkung hervor, sie werden $-$ elektrisch und laden die kupferne oder messingene Condensatorplatte mit $+E$. Diese Versuche sind entscheidend, sie geben aber von der Kraft, welche hier die Elektricität erzeugt, noch keine vollkommene Vorstellung, denn man könnte ja glauben, daß sie nur im Augenblicke der Berührung wirkte, daß die Elektricität vielleicht von einer Reibung, von einem Drucke der Metalle herrühre. Um in dieser Hinsicht alle Zweifel zu lösen, hatte Volta die sinnreiche Idee, eine doppelte Platte, Fig. 108, zu machen; die eine Hälfte ist von Zink, die andere von Kupfer, und diese beiden Metalle sind bei ss' zusammengelöthet. Nimmt man nun das Zink dieser Doppelplatte in die Hand, indem man mit dem Kupfer die untere

Fig. 108.



Condenſatorplatte berührt und die obere Condenſatorplatte mit dem Boden in leitende Verbindung ſetzt, ſo erhält man denſelben Ausſchlag der Goldblättchen wie beim vorigen Verſuche. An der Stelle, wo ſich Zink und Kupfer berühren, iſt alſo nach jahrelangem Contacte noch dieſelbe Kraft thätig, wie im erſten Augenblicke der Berührung.

Von der elektromotoriſchen Kraft. Dieſe an den Berührungsſtellen 56
heterogener Körper wirkende Kraft führt den Namen elektromotoriſche Kraft; ſie hat ihren Sitz an den Berührungsſtellen und wirkt daſelbſt beſtändig zerſetzend auf die noch verbundenen Elektricitäten, indem ſie die $+E$ auf den einen, die $-E$ auf den andern Körper treibt. Wenn alſo die doppelte Platte, Fig. 108, iſolirt iſt, kann ſie ſich nicht im natürlichen Zuſtande befinden.

Wir wollen jetzt verſuchen, die Natur dieſer elektromotoriſchen Kraft ſo viel als möglich kennen zu lernen.

Betrachten wir die doppelte Platte vorerſt im Zuſtande der Iſolation. Durch die an der Berührungsfläche wirkende elektromotoriſche Kraft wird eine beſtimmte Quantität neutraler Elektricität zerlegt, es wird alſo gleichviel poſitive und negative Elektricität frei, die $-E$ geht auf das Kupfer, die $+E$ auf das Zink über. Da nun aber die elektromotoriſche Kraft fortwährend thätig iſt, ſo ſollte man glauben, daß bald ſo viel neutraler Elektricität zerſetzt ſeyn müßte, daß ſich die $+E$ auf dem Zinke ſowohl als auch die $-E$ auf dem Kupfer im Zuſtande ſtarker Spannung befände. Der Verſuch zeigt uns aber, daß dem nicht ſo ſey; die Spannung der freien Elektricität auf beiden Metallen iſt ſo gering, daß wir ja des Condenſators bedürfen, um ſie nur merklich zu machen.

Wie läßt ſich dieſe Thatſache nun mit der ungeſchwächten Fortdauer der elektromotoriſchen Kraft zuſammenreimen? Die elektromotoriſche Kraft, welche die Elektricitäten trennt, hindert auch, daß die $+E$ auf das Kupfer und die $-E$ auf das Zink zurückgeht, ſie hindert alſo die Wiedervereinigung der getrennten Elektricitäten; die an der Gränzfläche thätige elektromotoriſche Kraft wirkt alſo hier gerade ſo wie das Glas einer Leidner Flaſche oder wie die Harzſchicht eines Condenſators. Die auf der einen Platte eines geladenen Condenſators befindliche $+E$ zieht die $-E$ der andern Platte an, ihre Vereinigung wird einzig und allein durch die beide Platten trennende nichtleitende Harzſchicht verhindert. Wir haben aber geſehen, daß die Ladung, welche man einem Condenſator ertheilen kann, ihre Gränze hat, daß bei ſtärkeren Ladungen die iſolirende Harzſchicht durchbrochen wird und alſo eine Entladung erfolgt. Hier nun iſt es ganz ähnlich: die elektromotoriſche Kraft kann nur ſo lange die entgegengeſetzten Elektricitäten der beiden Metalle getrennt erhalten, bis ihre Spannung eine gewiſſe Gränze erreicht hat. Nehmen wir an, eine

Doppelplatte, Fig. 109, ſey iſolirt, die beiden Metalle ſeyen bis zu jener Gränze mit den ihnen zukommenden Elektricitäten geladen, und man theile dem Zink auf irgend eine Weiſe noch mehr $+ E$, dem Kupfer ebenſoviel $- E$ mit, ſo werden dieſe neuen Ladungen nicht auf dem Kupfer und dem Zink getrennt bleiben, weil die an ihren Gränzflächen wirkende elektromotoriſche Kraft ihre Vereinigung nicht hindern kann. Es geht daraus hervor, daß die elektriſche Spannung auf dem Zink und dem Kupfer trotz der fortdauernd wirkenden elektromotoriſchen Kraft dieſe Gränze nicht überſchreiten kann; denn alle durch die elektromotoriſche Kraft von Neuem entwickelten Elektricitäten würden ſich ja ſogleich wieder vereinigen.

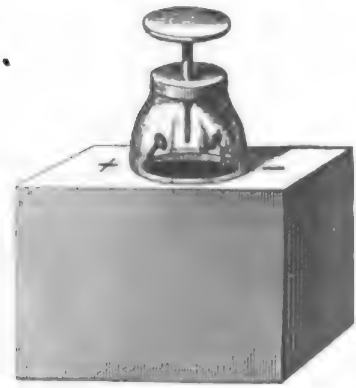
Fig. 109.

Nun iſt die Frage, wie ſich die Elektricität auf dem Kupfer und auf dem Zink vertheilt? Auch hierin finden wir eine vollkommene Analogie mit dem Condenſator. Die größte Menge der einen Condenſator oder eine Leidner Flaſche ladenden Elektricität iſt auf den einander zugekehrten, durch die iſolirende Schicht getrennten Metallflächen verdichtet, ein ungleich geringerer Theil verbreitet ſich frei über die ganze übrige Oberfläche der metalliſchen Belegung. Ebenſo iſt es hier; der größte Theil der durch den Contact entwickelten Elektricität bleibt an der Berührungsfläche beider Metalle gebunden, während ein weit geringerer Theil ſich frei über die Metalle verbreitet.

Volta ſtellte ſich die Sache ganz anders vor, er glaubte, die elektromotoriſche Kraft treibe die entwickelten Elektricitäten von der Berührungsfläche weg. Daß Volta's Anſicht hierin irrig ſey, und daß die Sache ſich ſo verhalte, wie ſo eben auseinandergeſetzt wurde, hat Fechner durch vielfache Verſuche dargethan, unter denen wir nur folgenden hervorheben.

Man ſchraube auf das verbeſſerte Bohnenberger'ſche Elektroſkop, Fig. 110, deſſen genaue Beſchreibung erſt ſpäter, bei Gelegenheit der trocknen Säulen, gegeben werden kann, ſtatt einer Condenſatorplatte eine Kupferplatte von ungefähr 8^{cm} Durchmeſſer auf und ſetze auf dieſe eine eben ſo große Zinkplatte. Es iſt weſentlich, daß die beiden Metallflächen vollkommen eben ſind, damit eine möglichſt vollſtändige Berührung ſtattfinden könne; man erreicht dies am beſten dadurch, daß man die beiden Metallplatten auf einander abſchleift. Durch die metalliſche Berührung der beiden Platten wird

Fig. 110.



Elektricität entwickelt, aber die auf dem Kupfer sich frei verbreitende — E ist von so geringer Spannung, daß sie keinen Ausschlag des Goldblättchens bewirken kann; dieser Ausschlag erfolgt aber sogleich, wenn man die Zinkplatte abhebt. Für das Gelingen des Versuchs ist es unerläßlich nöthig, daß die Zinkplatte vollkommen parallel mit der Kupferplatte abgehoben werde, so daß nicht einige Punkte der Zinkplatte länger mit dem Kupfer in Berührung bleiben als andere.

Dieser Versuch, welcher zugleich der einfachste und sicherste Beweis für die Elektricitätserregung beim Metallcontacte ist, ohne daß dabei ein Condensator ins Spiel käme, beweis't, daß in der That der größte Theil der durch die elektromotorische Kraft entwickelten Elektricität an der Berührungsfläche gebunden bleibt, weil sie erst durch das Abheben der Zinkplatte frei wird.

Es ist klar, daß mit der Größe der Berührungsfläche auch die Menge der an derselben gebundenen Elektricität zunimmt. Berührt man die auf das Elektroskop aufgeschraubte Kupferplatte nur mit dem Rande der Zinkplatte, so wird man nach dem Wegnehmen der Zinkplatte auch keinen Ausschlag erhalten, weil an den wenigen Berührungspunkten nicht viel Elektricität gebunden seyn konnte. Aus diesem Umstande ergiebt sich auch, wie wichtig das parallele Abheben der Zinkplatte für das Gelingen des Versuchs ist.

Wenn man die Zinkplatte gehörig parallel abhebt, so erhält man einen Ausschlag, welcher zeigt, daß das Kupfer, in Berührung mit Zink, — elektrisch geworden ist. Dieser Ausschlag erfolgt mit gleicher Stärke, man mag die Zinkplatte isolirt oder nicht isolirt abheben.

Dies zeigt die Richtigkeit der Behauptung, daß der größte Theil der durch die elektromotorische Kraft entwickelten Elektricität an der Berührungsstelle gebunden bleibt, so lange die Berührung dauert, und daß nur ein verhältnißmäßig sehr unbedeutender Theil sich frei über die beiden Metalle verbreitet. Die Quantität der gebundenen Elektricität ist der Größe der Berührungsfläche proportional, dahingegen ist die Spannung, welche der sich frei verbreitende Antheil der Elektricität erreichen kann, von der Größe der Berührungsfläche unabhängig. Bei dem oben (Seite 117) beschriebenen Volta'schen Fundamentalversuche ist es deshalb auch ganz gleichgültig, ob die untere Condensatorplatte an vielen oder an wenigen Punkten mit dem Zinke in Berührung ist.

Nach diesen Betrachtungen sind wir nun auch im Stande, den Hergang des so eben wieder erwähnten Volta'schen Fundamentalversuchs deutlicher einzusehen. Denken wir uns, man habe die obere Condensatorplatte noch nicht aufgesetzt, die untere aber mit dem Zink berührt, so wird sich etwas — E auf der Messingplatte verbreiten, deren Spannung

jedoch ſo gering iſt, daß ſie keine Divergenz der Goldblättchen bewirken kann. Bezeichnen wir die Dichtigkeit der freien Elektricität, welche ſich unter dieſen Umſtänden auf der Meſſingplatte verbreitet, mit d. Nun werde die obere Condenſatorplatte aufgeſetzt und ableitend mit dem Finger berührt, ſo wird die freie E der untern Condenſatorplatte nach der Harzſchicht ſtrömen, an welcher ſie gebunden wird; in dem Maaße aber, in welchem die freie Elektricität der untern Meſſingplatte durch dieſe Condenſation weggenommen wird, wird auch durch die fortwährend thätige elektromotoriſche Kraft an der Berührungsſtelle des Zinks dieſer Verluſt erſetzt, bis die auf der untern Condenſatorplatte frei verbreitete Elektricität wieder die Dichtigkeit d, und alſo die an die Harzſchicht gebundene Elektricität die Dichtigkeit $n\,d$ hat (Seite 96). Eine nur einen Augenblick dauernde Berührung der unteren Condenſatorplatte mit dem Zink reicht ſchon hin, den Condenſator vollſtändig zu laden.

Wenn eine iſolirte Kupferplatte mit einer gleich großen ebenfalls iſolirten Zinkplatte in Berührung gebracht wird, ſo iſt die Quantität der auf die Zinkplatte übergehenden $+E$ genau ſo groß wie die Menge der auf das Kupfer übergehenden E. Gerade deshalb aber kann die Elektricität auf dem einen Metalle die auf dem andern befindliche nicht vollſtändig binden, auf jedem Metalle muß alſo eine, wenn auch geringe Menge Elektricität frei ſeyn, gerade wie bei einer Franklin'ſchen Tafel auf jeder Seite etwas Elektricität frei iſt, wenn auf der einen Belegung ſich gerade ſo viel $-E$ befindet als $+E$ auf der andern. Damit die Elektricität auf der einen Belegung vollſtändig gebunden ſey, muß ſich auf der andern Seite ein Ueberſchuß der entgegengeſetzten Elektricität befinden. Bei den ſich berührenden heterogenen Metallplatten findet ein ganz analoges Verhältniß Statt. Wenn man eine der iſolirten Metallplatten, etwa die Zinkplatte, ableitend mit dem Finger berührt, während die Kupferplatte iſolirt bleibt, ſo wird die freie $+E$ der Zinkplatte abgeleitet; durch dieſe Ableitung wird aber auf der Kupferplatte wieder eine Quantität $-E$ frei, die Spannung der freien $-E$ auf der Kupferplatte nimmt alſo zu, wenn die Zinkplatte ableitend berührt wird.

Hätte man bei Anſtellung des Volta'ſchen Fundamentalverſuchs (S. 118) die untere Condenſatorplatte mit einem iſolirten Stücke Zink berührt, ſo würde begreiflicher Weiſe der Effect ungleich geringer ausgefallen ſeyn, als wenn das Zinkſtück nicht iſolirt geweſen wäre.

Bezeichnen wir mit $+e$ die Dichtigkeit der freien Elektricität, welche ſich auf einer iſolirten Zinkplatte verbreitet, wenn man ſie mit einer gleich großen, ebenfalls iſolirten, Kupferplatte berührt, ſo iſt $-e$ die Dichtigkeit der entgegengeſetzten Elektricität, welche ſich über das Kupfer frei verbreitet. Wenn man eine Platte, etwa die Zinkplatte, ableitend berührt,

ſo kann man alle freie Elektricität ableiten, die Dichtigkeit der auf der berührten Platte zurückbleibenden freien Elektricität iſt alſo Null. Auf der Kupferplatte muß aber dadurch von Neuem gerade ſo viel negative Elektricität frei werden, als man poſitive Elektricität von dem Zink ableitete; die Dichtigkeit der Elektricität auf der Kupferplatte wird alſo $-2e$. Man kann allgemein ſagen: Wenn eine der beiden ſich berührenden Metallplatten iſolirt iſt, die andere aber nicht, ſo iſt die Dichtigkeit der freien Elektricität auf der iſolirten Platte doppelt ſo groß, als ſie ſeyn würde, wenn auch die andere Platte iſolirt geblieben wäre.

Mögen nun die beiden ſich berührenden heterogenen Platten iſolirt ſeyn oder nur eine derſelben, ſo bleibt doch die Differenz der elektriſchen Spannungen auf beiden dieſelbe. Wenn die eine Platte ableitend berührt iſt, ſo iſt die Spannung auf ihr 0, auf der andern $2e$, die Differenz dieſer beiden Spannungen iſt alſo auch $2e$. Wenn beide iſolirt ſind, ſo iſt die Tenſion auf der einen $+e$, auf der andern $-e$, und die Differenz dieſer beiden Tenſionen iſt abermals $2e$. Ja ſelbſt, wenn man von irgend einer andern Elektricitätsquelle her Elektricität auf das Plattenpaar leitet, bleibt dieſe Differenz unverändert dieſelbe, indem ſich die neu zugeführte Elektricität frei über das ganze Syſtem verbreitet. Geſetzt, man leite auf das Plattenpaar ſo viel poſitive Elektricität, daß ſie, frei über daſſelbe verbreitet, eine Dichtigkeit $10e$ habe, ſo wird ſich dieſe Elektricität mit der ſchon durch die elektromotoriſche Kraft auf beiden Platten erzeugten vereinigen. Die Dichtigkeit der freien poſitiven Elektricität, welche durch die elektromotoriſche Kraft auf der Zinkplatte verbreitet wird, iſt e, was mit jenen zugeleiteten $10e$ zuſammen $+11e$ macht. Auf der Kupferplatte iſt aber durch die Wirkung der elektromotoriſchen Kraft negative Elektricität von der Dichtigkeit $-e$ verbreitet; dieſe negative Elektricität neutraliſirt eine gleiche Quantität der zugeleiteten poſitiven Elektricität, von den zugeleiteten $+10e$ bleiben alſo $+9e$ übrig. Die Tenſion auf der Zinkplatte iſt alſo $+11e$, auf der Kupferplatte $+9e$, alſo die Differenz $+2e$. Daſſelbe Reſultat ſtellt ſich heraus, welches auch die Natur und die Quantität der dem Plattenpaare zugeleiteten Elektricität ſeyn mag. Die elektriſche Differenz beider Platten bleibt unverändert.

Die Spannungsreihe. Die elektriſchen Spannungen, welche durch 57
die elektromotoriſche Kraft entwickelt und auf die ſich berührenden Körper verbreitet werden, ſind nicht für alle Stoffe gleich. Die Metalle ſind gute Elektromotoren, man beobachtet jedoch in dieſer Hinſicht einen großen Unterſchied unter denſelben. So wird z. B. Zink, in Berührung mit Platin, ſtärker poſitiv elektriſch als in Berührung mit Kupfer; das Kupfer wird, in Berührung mit Zink, negativ, in Berührung mit Platin, poſitiv

elektrisch. Die folgende Tabelle enthält eine Reihe von Körpern, so geordnet, daß jeder der vorangehenden, in Berührung mit allen folgenden, positiv elektrisch wird.

\+
Zink
Blei
Zinn
Eisen
Kupfer
Silber
Gold
Platin
Kohle.
—

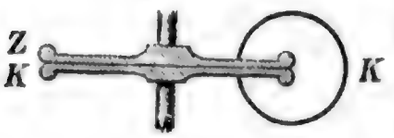
Wir wollen mit

Z B	die elektrische	Differenz	zwischen	Zink	und	Blei
Z K	»	»	»	Zink	»	Kupfer
Z P	»	»	»	Zink	»	Platin
B K	»	»	»	Blei	»	Kupfer
B P	»	»	»	Blei	»	Platin
K P	»	»	»	Kupfer	»	Platin

bezeichnen.

Man schraube auf das Goldblattelektrometer, Fig. 107, eine Condensatorplatte von Kupfer, setze auf dieselbe eine Condensatorplatte von Zink und verbinde die beiden Platten durch einen Kupferdraht in der Weise, wie man Fig. 111 sieht. Durch die Berührung des Kupferdrahtes mit der (oben nicht lackirten) Zinkplatte wird Elektricität entwickelt, die auf dem Zink sich verbreitende freie + *E* wird an der die beiden Platten trennenden Harzschicht condensirt, während die — *E* durch den Kupferdraht auf die Kupferplatte übergeht und dort condensirt wird. Nach einer nur ganz kurzen Berührung wird sich der Condensator geladen haben; man nimmt nun den Kupferdraht weg und hebt die Zinkplatte ab, so werden die Goldblättchen divergiren, und zwar ist ihre Divergenz offenbar der elektrischen Differenz *Z K* zwischen Zink und Kupfer proportional.

Fig. 111.



Nun nehme man statt des verbindenden Kupferdrahtes einen Bleidraht. Wenn nur zwischen Zink und Blei eine elektromotorische Kraft thätig wäre, nicht aber zwischen Blei und Kupfer, so würde die Kupferplatte eine Ladung annehmen, welche der elektrischen Differenz *Z B* zwischen Zink und Blei

proportional ist. Außer der $-E$ aber, welche von dem Blei auf die Kupferplatte übergeht, erhält dieselbe aber auch noch eine fernere Ladung, welche von der zwischen Blei und Kupfer thätigen elektromotorischen Kraft abhängt, durch welche das Kupfer ebenfalls negativ erregt wird, die Ladung der Kupferplatte muß also der Summe $ZB + BK$ proportional seyn: Wenn man aber nun den Bleidraht entfernt und die obere Condensatorplatte abhebt, ist die Divergenz der Blättchen gerade eben so groß als beim ersten Versuch, mithin ist

$$ZB + BK = ZK,$$

d. h. die elektrische Differenz zwischen Zink und Kupfer ist gleich der Summe der elektrischen Differenzen zwischen Zink und Blei, Blei und Kupfer.

Hätte man statt des Bleidrahtes einen Platindraht angewendet, so würde die Kupferplatte eine negative Ladung ZP angenommen haben, wenn nur an der Berührungsstelle zwischen Zink und Platin eine elektromotorische Kraft thätig wäre. Durch Platin wird das Kupfer positiv erregt, die Ladung der Kupferplatte kann offenbar nur $ZP - KP$ seyn. Aber auch hier erhält man wieder denselben Ausschlag als ob der Verbindungsdraht von Kupfer gewesen wäre, mithin ist

$$ZP - KP = ZK$$

und daraus

$$ZK + KP = ZP.$$

Die elektrische Differenz zwischen Zink und Platin ist die Summe der elektrischen Differenzen zwischen Zink und Kupfer, Kupfer und Platin.

Von welchem Metall man auch den Verbindungsbogen der beiden Platten nehmen mag, man erhält stets dieselbe Ladung des Condensators, und daraus folgt, daß die elektrische Differenz je zwei beliebiger Glieder in der Spannungsreihe gleich ist der Summe der elektrischen Differenzen der Zwischenglieder.

Aus unseren Versuchen folgt auch ferner, daß, wenn man drei Metalle auf einander schichtet, die elektrische Spannung der Endplatten stets dieselbe ist, als ob sich diese Endplatten unmittelbar berührten und alle Zwischenplatten fehlten. Wenn also bei dem letzten Versuch die beiden Endplatten aus demselben Metalle bestehen, so wird ihre elektrische Ladung Null seyn; wenn die beiden Condensatorplatten aus demselben Metall gemacht sind, so erhält man keine Divergenz, welches Metall man auch zum Verbindungsbogen anwenden mag.

Auch wenn man vier, fünf oder noch mehr verschiedene Metalle in beliebiger Ordnung auf einander folgen läßt, ist die Spannung der freien

Elektricität auf den Endgliedern stets dieselbe, als ob sie unmittelbar in Berührung mit einander wären.

Alle Metalle nehmen eine bestimmte Stellung in der Spannungsreihe ein; die Kohle verhält sich in dieser Hinsicht ganz wie ein Metall, sie ist noch mehr elektronegativ als Platin. Auch viele zusammengesetzte Körper nehmen eine bestimmte Stellung in der Spannungsreihe ein, z. B. Braunstein, Eisenoxyd, Schwefeleisen, Schwefelblei u. s. w.; andere zusammengesetzte Körper aber, namentlich Flüssigkeiten, gehorchen den Gesetzen der Spannungsreihe durchaus nicht.

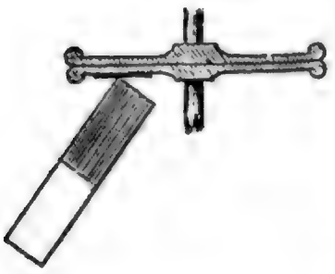
So wird z. B. Zink, in Berührung mit reinem Wasser, negativ elektrisch. Wenn nun das Wasser in die Spannungsreihe eingeschaltet werden sollte, so müßte man es nach seinem Verhalten gegen Zink noch über dieses Metall setzen. Nähme das Wasser wirklich diese Stelle in der Spannungsreihe ein, so müßte Platin in Berührung mit Wasser, bei weitem stärker negativ erregt werden als Zink. Die Erfahrung zeigt aber das Gegentheil, das Platin wird, in Berührung mit Wasser, weit weniger negativ als Zink; man sieht also, daß das Wasser ein Körper ist, welcher den Gesetzen der Spannungsreihe nicht gehorcht. Ein ähnliches Verhalten zeigt die verdünnte Schwefelsäure, sie erregt Zink und Kupfer negativ, allein diese negative Erregung ist beim Zink stärker als beim Kupfer; Platin und Gold werden durch verdünnte Schwefelsäure positiv erregt.

Dieses eigenthümliche Verhalten der Flüssigkeiten erklärt die folgende Erscheinung. Man halte an die untere Condensatorplatte, welche aus Kupfer bestehen mag, das Zinkkupferelement, Fig 112, jedoch nicht in der Weise, wie auf Seite 118 gesagt wurde, sondern man nehme das Kupfer in die Hand und berühre mit dem Zink die Condensatorplatte, während natürlich die obere Condensatorplatte ableitend berührt wird; man wird keine Ladung des Condensators erhalten. Der Grund ist leicht einzusehen. Die untere Condensatorplatte ist die oberste Platte eines aus drei Stücken bestehenden metallischen Systemes; zu unterst ist das Kupfer, welches man in der Hand hält, dann folgt Zink, darauf wieder Kupfer. Der Effect ist derselbe als ob sich die beiden Endglieder, also Kupfer und Kupfer, unmittelbar berührten, er ist also gleich Null. Nun schiebe man zwischen das Zink und die untere Condensatorplatte ein mit reinem Wasser befeuchtetes Stückchen Papier ein, so wird der Condensator mit positiver Elektricität geladen werden. Wir haben hier ein System von 4 Körpern, Kupfer, Zink, feuchtes Papier, Kupfer. Da die beiden Endglieder gleichartig sind, so wäre eine Ladung des Condensators durchaus unmöglich, wenn alle Zwischenglieder

Fig. 112.

ſolche Körper wären, welche eine Stellung in der Spannungsreihe einnehmen; die beobachtete Ladung des Condenſators beweiſ't alſo ſchon, daß das feuchte Papier nicht in die Spannungsröhre paßt. Der Hergang iſt hier folgender. Das untere Kupferſtück iſt mit dem Boden in leitender Verbindung, es befindet ſich deshalb im natürlichen Zuſtande, während das darangelöthete Zink eine poſitive Ladung erhält. Die poſitive Ladung des Zinks geht auf die feuchte Scheibe über, wird aber noch durch die poſitive Erregung des Waſſers durch Zink vermehrt. Die verſtärkte poſitive Ladung der feuchten Scheibe geht aber faſt vollſtändig auch auf die untere Condenſatorplatte über, weil ja das Kupfer durch Waſſer nur ſehr ſchwach negativ erregt wird.

Fig. 113.



Die elektriſche Erregung zwiſchen Metallen und Flüſſigkeiten iſt bisher häufig überſehen worden. Eine ſehr gründliche Unterſuchung dieſes für die Theorie der Volta'ſchen Säule ſo wichtigen Punktes hat Buff vor Kurzem publicirt (Liebig's Ann. der Chemie, Bd. 42, Seite 5).

Das Verfahren, welches er anwandte, um das elektriſche Verhalten irgend eines Metalls gegen die zu unterſuchende Flüſſigkeit frei von allen anderen Einflüſſen zu erhalten, war folgendes.

Auf einem ſehr empfindlichen Fechner'ſchen Säulenelektroſkop, Fig. 110, wurde eine Scheibe von dem zu prüfenden Metalle als untere Condenſatorplatte befeſtigt. Auf die gefirnißte Oberfläche derſelben wurde dann eine möglichſt dünne, geſchliffene Spiegelglasplatte gelegt, deren aufliegende (untere) Fläche gleichfalls gefirnißt war. Auf der Oberfläche des Glaſes endlich wurde die zu prüfende Flüſſigkeit ausgebreitet; gewöhnlich, und zwar ganz unbeſchadet der Wirkung, dadurch, daß man ein mit der Flüſſigkeit getränktes Löſchpapier oben auflegte. Die feuchte Schicht auf der Glasſcheibe bildete auf dieſe Weiſe die obere Condenſatorplatte. Buff verband nun die Flüſſigkeit mit der untern Condenſatorplatte durch einen geeigneten Metallſtreifen und entfernte dann die Glasſcheibe.

Die Glasſcheibe war $\frac{1}{4}$ Linie dick und hatte einen etwas größern Durchmeſſer als die Condenſatorplatte, um ſie leicht abheben zu können. Die auf dieſe Weiſe erhaltenen Ladungen ſind zwar in der Regel ſchwach, da wegen der Dicke der Glasſcheibe der Condenſator weniger wirkſam iſt, ſie gaben jedoch in qualitativer Hinſicht vollkommen entſcheidende Reſultate.

Iſt die Condenſatorplatte von Zink, die Flüſſigkeit reines Waſſer, der Verbindungsdraht ebenfalls Zink, ſo wird der Condenſator negativ geladen.

Wenn die untere Condensatorplatte und der Verbindungsdraht Platin sind und auf der Glasplatte ebenfalls reines Wasser ausgebreitet ist, so erhält das Platin ebenfalls eine negative Ladung, aber schwächer als die des Zinks durch Wasser.

Um die Wirkung von Wasser auf Platin mit der von Zink auf Platin zu vergleichen, wurde auf die Glasplatte statt des Wassers eine Zinkplatte aufgesetzt und die Verbindung des Zinks mit dem Platin durch einen Platinstreifen bewerkstelligt. Der Ausschlag war weit stärker. Platin wird also durch Zink weit stärker negativ erregt als durch Wasser.

Vergleicht man aber den Ausschlag, den unter diesen Umständen Zink und Platin giebt, mit dem, welchen Zink und Wasser geben, so findet man, daß der letztere bedeutender ist. Hieraus folgt, daß die absolute Größe der negativen Erregung des Zinks durch Wasser bedeutender ist als die Größe seiner positiven Erregung durch Platin.

Zink, mit reinem Wasser durch einen Platin- oder Kupferdraht in leitende Verbindung gesetzt, wurde positiv geladen, die positive Erregung des Zinks durch diese Metalle ist also größer als die negative Erregung derselben durch Wasser.

Verdünnte Schwefelsäure erregt Zink, Eisen, Kupfer in abnehmenden Graden negativ, Gold und Platin aber positiv. Aehnlich verhält sich verdünnte Salpetersäure.

Von concentrirter Salpetersäure wurden Platin, Gold, Kupfer, Eisen positiv erregt, nur das Zink, obgleich heftig angegriffen, zeigte eine kaum merklich negative Ladung.

Zweites Kapitel.

Von der Volta'schen Säule.

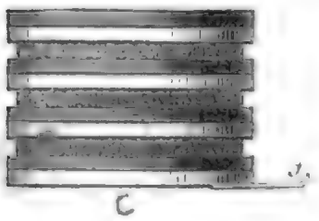
58 **Construction der Volta'schen Säule.** Zum Aufbau der Volta'schen Säulen werden drei verschiedene Körper angewendet; zwei Metalle und ein dritter Körper, welcher keine Stelle in der Spannungsreihe einnimmt.

Die Metalle, welche man in der Regel anwendet, sind Kupfer und Zink, zwei Körper, welche in der Spannungsreihe sehr weit von einander abstehen. Zink bildet das positive, Kupfer das negative Element. Gewöhnlich ist eine Kupferplatte und eine Zinkplatte zusammengelöthet.

Das dritte Element der Volta'schen Säule ist eine feuchte Scheibe, d. h. eine Scheibe von Tuch oder Pappe, welche mit reinem Wasser oder mit einer sehr verdünnten Säure oder einer Kochsalzlösung getränkt ist.

Eine Kupferplatte, also ein negatives Element, sey durch einen Kupferdraht *f*, Fig. 114, mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht und auf ihre obere Fläche eine gleich große Zinkplatte gelegt. Durch die elektromotorische Kraft wird das Zink positiv, das Kupfer negativ erregt, die freie Elektricität der Kupferplatte strömt aber in den Boden über, während auf der Zinkplatte freie Elektricität von einer Dichtigkeit bleibt, welche von der elektrischen Differenz zwischen Kupfer und Zink abhängt. Nehmen wir diese Dichtigkeit als Einheit an, so können wir sagen, daß unter diesen Umständen die Dichtigkeit der freien Elektricität auf dem Kupfer 0 sey, während sich über das Zink freie $+E$ von der Dichtigkeit 1 verbreitet. Wenn man durch irgend ein Mittel dem Zink einen Theil seiner freien E entzöge, so daß ihre Dichtigkeit geringer als 1 würde, so würde dieser Verlust, welchen die Zinkplatte an $+E$ erleidet, durch die elektromotorische Kraft sogleich wieder ersetzt werden, während eine der neu entwickelten und auf die Zinkplatte übergehenden $+E$ vollkommen gleiche Menge $-E$ auf die Kupferplatte und von dieser auf den Boden übergeht.

Fig. 114.



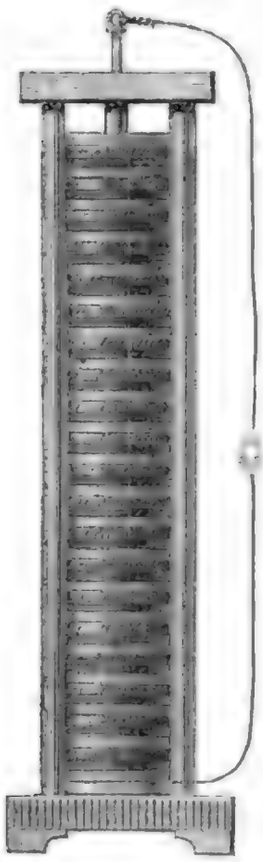
Man lege nun eine feuchte Scheibe auf das Zink. Nehmen wir der Einfachheit wegen an, sie äußere, in Berührung mit Zink, gar keine elektromotorische Kraft und verhalte sich nur als Leiter, so geht ein Theil der freien $+E$ vom Zink auf die feuchte Scheibe über, der Verlust wird aber alsbald wieder ersetzt, so daß die Dichtigkeit der freien $+E$ auf dem Zink 1 bleibt, und auch auf der feuchten Scheibe sich freie $+E$ von der Dichtigkeit 1 verbreitet. Wird nun auf die feuchte Scheibe wieder eine Kupferplatte gelegt, so wird sich auch auf dieser die $+E$ verbreiten, und zwar wird sie auch hier sogleich die Dichtigkeit 1 erreichen. Auf der untersten Kupferplatte hat man also nun die Dichtigkeit Null auf der Zinkplatte, der feuchten Scheibe und der obern Kupferplatte $+E$ von der Dichtigkeit 1.

Legt man auch auf die obere Kupferplatte eine Zinkplatte, so würde auch diese mit freier $+E$ von der Dichtigkeit 1 geladen werden, selbst wenn keine elektromotorische Kraft hier thätig wäre; nun aber bleibt die elektrische Differenz zwischen Kupfer und Zink stets dieselbe, sie ist nach unserer bisherigen Bezeichnung stets gleich 1, wenn also schon die obere Kupferplatte $+E$ von der Dichtigkeit 1 hat, so muß die $+E$ der darauf gelegten Zinkplatte die Dichtigkeit 2 haben.

Auf dieselbe Art kann man weiter schließen. Legt man auf das zweite Zinkkupferpaar abermals eine feuchte Scheibe und darauf wieder eine Kupfer- und eine Zinkplatte in derselben Ordnung, so daß das Kupfer unten,

das Zink oben hin kommt, so wird auf dieser dritten Zinkplatte die Dichtigkeit der freien $+E=3$ seyn. Baut man in derselben Ordnung fort, d. h. läßt man von unten nach oben fortbauend die Elemente stets in der Ordnung: Kupfer, Zink, feuchte Scheibe folgen, so wird auf der 4ten, 5ten... 100sten Zinkscheibe sich freie $+E$ von der Dichtigkeit 4, 5... 100 finden.

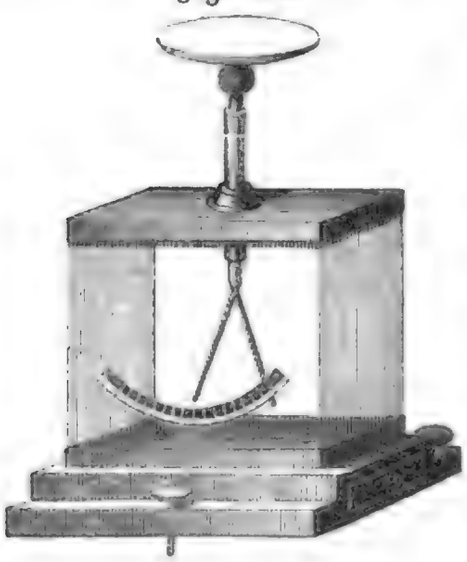
Fig. 115.



Das eben beschriebene Arrangement führt nach seinem Erfinder den Namen der Volta'schen Säule. Fig. 115 stellt eine Volta'sche Säule von 20 Plattenpaaren dar. Das Fußgestell ist von trockenem Holze, die Stäbe auf der Seite, welche die Säule halten, sind von Glas.

Das eine Ende der Säule, welches mit einer Zinkplatte endigt, heißt das Zinkende oder der positive Pol, das andere Ende hingegen das Kupferende oder der negative Pol. In dem eben beschriebenen Arrangement war der negative Pol mit dem Boden in leitender Verbindung, der positive Pol war isolirt, und auf der ganzen Säule war $+E$ verbreitet, deren Dichtigkeit nach unserer Betrachtung von unten nach oben zunehmen muß. Wenn der negative Pol isolirt, und der positive Pol mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt wird, so ist die Dichtigkeit der freien Elektricität an dem Zinkende Null, während sich über die ganze Säule freie $-E$ verbreitet, deren Dichtigkeit nach dem Kupferende hin zunimmt.

Fig. 116.



Daß in einer Säule, deren einer Pol isolirt ist, während das andere Ende ableitend berührt wird, wirklich die erwähnte Vertheilung der Elektricität stattfindet, davon kann man sich leicht mit Hülfe des Elektrometers, Fig. 116, überzeugen. Wir haben gesehen (S. 118), daß, wenn man die untere Condensatorplatte des Elektrometers mit dem Kupfer eines zusammengelötheten Zinkkupferpaares berührt, während das Zink mit dem Boden in leitender Verbindung ist, dem Condensator eine Ladung ertheilt werden kann, welche der elektrischen Differenz zwischen

Zink und Kupfer proportional ist, also von der Dichtigkeit 1 der freien Elektricität abhängt, welche sich über das Kupfer verbreitet, wenn es mit Zink in Berührung ist, welches selbst wieder mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Legt man aber auf die Hand eine Zinkscheibe, auf welche eine gleich große Kupferscheibe aufgelöthet ist, auf die Kupferplatte eine feuchte Scheibe und auf diese wieder ein Zinkkupferpaar und zwar Zink unten, Kupfer oben hin, so muß nach unseren Betrachtungen auf der obern Kupferplatte freie $-E$ von der Dichtigkeit 2 sich befinden, vorausgesetzt, daß die Flüssigkeit weder auf Kupfer noch auf Zink eine elektromotorische Kraft ausübt. Berührt man also die untere Condensatorplatte des Elektrometers mit der obern Kupferplatte, die obere Condensatorplatte aber ableitend mit dem Finger, so erhält nun der Condensator eine doppelt so starke Ladung als vorher, da man nur ein Plattenpaar angewendet hatte, und in der That erhält man jetzt einen weit stärkern Ausschlag. Ja, der Ausschlag ist mehr als doppelt so groß, weil sich, wie wir in Nro. 57 gesehen haben, die elektromotorische Wirkung der feuchten Scheibe mit der der Metalle summirt und also zur Verstärkung der Ladung an den Polen der Volta'schen Säule bedeutend mitwirkt. Macht man den Versuch mit einer Säule von drei Zinkkupferpaaren, so wird der Ausschlag abermals bedeutender. Wenn das Goldblattelektrometer empfindlich und der Condensator in gutem Stande ist, so ist der Ausschlag der Blättchen bei Anwendung von zwei und drei Plattenpaaren schon so bedeutend, daß man bei vier Plattenpaaren ein Zerreißen der Goldblättchen zu befürchten hat. Will man aber zeigen, wie auch weiter noch mit wachsender Plattenzahl die elektrische Spannung an dem einen Pol zunimmt, so hat man nur ein weniger empfindliches Elektroskop, etwa das Fig. 58 anzuwenden. Man wiederhole den Versuch ganz auf die so eben beschriebene Weise mit Anwendung von 5, 10, 15, 20 u. s. w. Plattenpaaren, so wird man beobachten, wie der Ausschlag mit wachsender Plattenzahl immer mehr zunimmt.

In der eben beschriebenen Versuchsweise war der positive Pol mit dem Boden in leitender Verbindung, und die negative Elektricität des Kupferpols wurde auf der untern Condensatorplatte verdichtet, das Elektrometer wurde also mit $-E$ geladen. Es ist nun leicht, die Anordnung so umzukehren, daß die $+E$ condensirt wird. Zu diesem Zwecke baue man nur die Säule in umgekehrter Ordnung auf; man lege das unterste Plattenpaar so auf die Hand, daß das Zink nach oben gekehrt ist, und baue in dieser Ordnung weiter. Damit der Contact der obersten Zinkplatte mit der Condensatorplatte den Effect nicht modificire, muß in diesem Fall die untere Condensatorplatte entweder selbst von Zink seyn, oder, wenn sie von Messing ist, muß man auf die oberste Zinkplatte noch

eine feuchte Scheibe legen und mit dieser die untere Condensatorplatte berühren.

59 **Die isolirte Säule.** Nehmen wir an, man habe eine Säule von 100 Paaren aufgebaut und den negativen Pol mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt, daneben eine zweite, der ersten ganz gleiche, deren positiver Pol ableitend berührt ist. Nun setze man die beiden Säulen zu einer einzigen zusammen, so aber, daß mit Einschaltung einer feuchten Scheibe die beiden ableitend berührten Pole (also der + Pol der einen und der — Pol der andern) an einander stoßen, so hat man eine einzige Säule von 200 Paaren, deren Hälften sich noch ganz in dem Zustand befinden wie vorher: die Mitte befindet sich also im natürlichen Zustand, selbst wenn man die leitende Verbindung mit dem Boden aufgehoben hat. Die eine Hälfte ist positiv, die andere negativ geladen, und zwar wächst die Stärke der Ladung von der Mitte nach den Polen hin. Die elektrische Spannung an jedem Pol ist gerade so groß wie am isolirten Pol einer Säule von 100 Paaren, deren anderer Pol ableitend berührt ist. Stört man dieses Gleichgewicht, indem man von dem einen Pol etwas Elektricität wegnimmt, so wird hier die Spannung vermindert, am andern Pol vermehrt, und der Punkt der Säule, welcher sich im natürlichen Zustande befindet, wird von der Mitte mehr nach dem Pol hingerückt, welchem man Elektricität entzogen hatte. Wenn aber die ganze Säule isolirt bleibt, so stellt sich nach und nach der frühere Zustand wieder her, d. h der Gleichgewichtspunkt rückt allmälig wieder in die Mitte, weil an dem stärker geladenen Pol fortwährend auch ein größerer elektrischer Verlust stattfindet. In jeder ganz isolirten Säule stellt sich also von selbst das elektrische Gleichgewicht in der Weise her, daß die Mitte im natürlichen Zustand ist und die beiden Hälften mit den entgegengesetzten Elektricitäten geladen sind, deren Dichtigkeit nach den Polen hin von einem Plattenpaar zum andern wächst.

60 **Die trockene Säule.** Bei den trocknen Säulen sind die Elektromotoren ebenfalls metallische Substanzen, aber der Leiter, welcher je zwei Paare trennt, ist keine Flüssigkeit, sondern irgend ein fester Körper, welcher entweder vollkommen trocken oder nur etwas feucht ist. Unter den verschiedenen Vorrichtungen dieser Art, welche nach einander vorgeschlagen wurden, scheint die von Zamboni die wirksamste zu seyn. Auf ein gewöhnliches Blatt Papier, welches gerade so feucht ist als es bei feuchter Witterung von selbst wird, klebt man mit Gummi oder Stärke auf die eine Seite unächten Silberschaum (Zink), während auf der andern Seite feingepulverter Braunstein (Manganhyperoxyd) mittelst eines Korkstopfens eingerieben wird; mehrere so zubereitete Papierblätter werden nun auf einander gelegt und mit einem runden Schlageisen von 10 bis 15 Linien Durchmesser runde Scheibchen ausgeschlagen. Durch Aufeinanderschichten solcher Scheibchen werden nun

Säulen von 1000 bis 2000 Paaren aufgebaut, dabei muß man aber wohl darauf Rücksicht nehmen, daß die Scheibchen alle in derselben Ordnung aufgebaut werden, daß also die Zinkseite entweder immer nach unten oder immer nach oben gekehrt ist. Um die vollständige Berührung der Plattenpaare zu sichern, wird die Säule zusammengepreßt, nachdem man an beiden Enden hinreichend starke Metallplatten mit 3 bis 4 vorspringenden Ansätzen anbringt, die nun durch seidene Schnüre verbunden werden. Um die ganze Säule vor dem Einfluß der Luft zu schützen, wird sie mit geschmolzenem Schwefel oder mit Schellack überzogen.

Man kann auch die trocknen Säulen aus unächtem Gold- und Silberpapier construiren. Zu diesem Zweck klebt man immer einen Bogen unächtes Silberpapier (Zinn) und einen Bogen unächtes Goldpapier (Kupfer) mit der Papierseite zusammen, so daß man also ein Papierblatt hat, welches auf der einen Seite mit Kupfer, auf der andern mit Zinn überzogen ist. Aus den so zusammengeklebten Bogen werden dann die Scheibchen ausgeschnitten.

Eigenschaften der trocknen Säule. Eine Zamboni'sche Säule von 61
2000 Paaren ist noch nicht im Stande, den mindesten Schlag zu geben oder die mindeste chemische Zersetzung hervorzubringen, allein ihre Pole zeigen eine sehr merkliche Spannung. Schon eine Säule von 100 bis 200 Paaren bringt an einem Goldblattelektrometer ohne Condensator eine Divergenz hervor; man braucht zu diesem Zweck nur den einen Pol in der Hand zu halten und mit dem andern die Platte oder die Kugel des Elektrometers zu berühren. Mit Säulen von 800 bis 1000 Paaren erhält man schon eine sehr bedeutende Divergenz. Berührt man mit dem einen Pol solcher Säule die eine Belegung einer Franklin'schen Tafel, während der andere Pol ableitend berührt ist, so gelingt es manchmal, der Tafel eine so starke Ladung zu ertheilen, daß bei ihrer Entladung ein Funken erscheint.

Eine Volta'sche Säule von 2000 Paaren würde, wie wir bald sehen werden, mit einem gesäuerten Wasser geschichtet, nicht allein diese Spannungserscheinungen, sondern auch bedeutende Stromeffecte, einen bedeutenden Schlag und eine sehr lebhafte chemische Zersetzung hervorgebracht haben. Daß diese Erscheinungen bei der Zamboni'schen Säule fehlen, hat besonders in der unvollkommenen Leitungsfähigkeit des Papiers seinen Grund. Die elektrischen Flüssigkeiten können nur langsam die Säule bis zu den Polen durchwandern, und in Folge dieser Langsamkeit tritt ein Gleichgewichtszustand ein, den wir sogleich näher untersuchen wollen.

Wenn beide Pole der Säule isolirt sind, so häufen sich die entgegengesetzten Elektricitäten bald in gleichem Maaße an den Polen an; die Spannung wächst hier, bis die Elektricitätsmenge, welche jeder Pol durch die Luft in einem gegebenen Zeittheilchen verliert, gleich derjenigen Menge ist, welche

in derselben Zeit dem Pole durch die Säule wieder zugeführt wird. Von diesem Augenblicke an bleibt die Spannung an den Polen constant. Wird nun die Luft feuchter, so beträgt der elektrische Verlust an den Polen einen größern Bruchtheil der gesammten daselbst angehäuften Elektricität, während doch die Menge der dem Pol zugeführten Elektricität dieselbe bleibt; daraus ergiebt sich dann, daß in feuchter Luft die Spannung an den Polen geringer seyn muß als in trockner Luft.

Die Zamboni'schen Säulen wendet man an, um das sogenannte elektrische perpetuum mobile zu construiren. Zwei Säulen, jede etwa von 2000 Paaren, werden so neben einander gestellt, daß bei der einen der positive, bei der andern der negative Pol unten ist; diese beiden unteren Pole werden nun durch einen Metallstreifen in gut leitende Verbindung gebracht, während das Ganze isolirt bleibt, und dadurch erhält man ein System, welches in der That einer einzigen Säule von 4000 Paaren gleich ist, nur sind die beiden Pole dieser Säule nach oben gekehrt. Denken wir uns nun in die Mitte zwischen diese beiden oberen Pole ein ganz leichtes metallisches Pendel leicht beweglich und isolirt aufgehängt, so wird es von beiden Polen gleich stark angezogen, sie bleibt also in Ruhe. Wird aber dieses Gleichgewicht gestört, so beginnt alsbald eine fortdauernde Bewegung. Kommt z. B. das Pendel mit dem positiven Pole in Berührung, so wird es mit $+E$ geladen, vom $+$ Pole abgestoßen und vom $-$ Pole angezogen; am letztern Pole angekommen, giebt es an diesen seine positive Ladung ab, nimmt dagegen $-E$ auf und wird nun wieder nach dem $+$ Pol getrieben u. s. w. Man sollte glauben, daß, wenn Alles gut hergerichtet ist, die Bewegung in der That immer fortdauern müßte; es ist dies jedoch nicht der Fall. Bald werden die Oscillationen schneller, dann wieder langsamer, endlich hören sie eine Zeitlang ganz auf. Diese Unregelmäßigkeiten lassen sich aber ganz gut erklären. Es wirken hier zwei Ursachen, um den Polen der Säule Elektricität zu entziehen, nämlich die Luft und das Pendel, während die Elektricität nur aus einer constanten Quelle wieder ersetzt wird. Wenn für einen bestimmten Zustand der Luft das Pendel so eingerichtet ist, daß in einer gegebenen Zeit die Menge der Elektricität, welche an den Polen durch die Luft und das Pendel weggenommen wird, in derselben Zeit auch wieder ersetzt werden kann, so sind die Schwingungen regelmäßig und dauern so fort, bis sich die Umstände ändern. Wird nun die Luft trocken, so werden die Oscillationen schneller; wird die Luft feuchter, so nimmt die Geschwindigkeit der Oscillationen ab, und wenn es sehr feucht wird, kommt das Pendel wohl auch ganz in Ruhe, nach einiger Zeit aber können die Schwingungen von Neuem beginnen. Um das Pendel in jedem beliebigen Augenblicke stille stehen zu machen, braucht man nur über die Pole hinzublasen oder sie mit der Hand oder mit

einem andern guten Leiter zu berühren, denn dadurch wird die elektrische Ladung der Pole weggenommen, und es ist eine geraume Zeit nöthig, bis die elektrischen Fluida sich wieder hinreichend an den Polen angehäuft haben, um wieder die Bewegung des Pendels zu unterhalten.

Bohnenberger's Elektroskop. Zu den wichtigsten und sinnreichsten 62
Anwendungen, die man von der trocknen Säule gemacht hat, gehört unstreitig das Bohnenberger'sche Elektroskop. Nachdem Bohnenberger an dem Goldblattelektrometer das eine Goldblättchen weggenommen hatte, brachte er auf jeder Seite des noch übrig gebliebenen, und zwar in gleicher Entfernung von demselben, eine starke trockne Säule an. Das Goldblättchen hängt also in der Mitte zwischen den Enden der beiden Säulen, und zwar befindet sich auf der einen Seite ein positiver, auf der andern ein negativer Pol, und so muß sich das Blättchen nach dem einen oder dem andern Pole hin bewegen, wenn ihm nur die geringste positive oder negative Ladung mitgetheilt wird.

Statt zweier vertikalen Säulen wandte Becquerel zuerst eine horizontale mit vertikalen Polplatten an, zwischen denen ihrer ganzen Länge nach das Goldblättchen herabreicht. Fechner hat diesen Apparat noch sehr verbessert und ihm die Fig. 117 und Fig. 118 dargestellte Einrichtung gege-

Fig. 117.

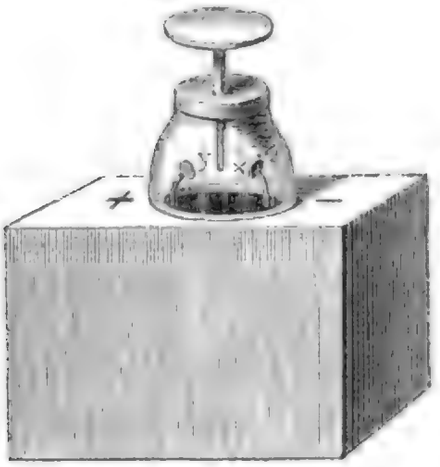
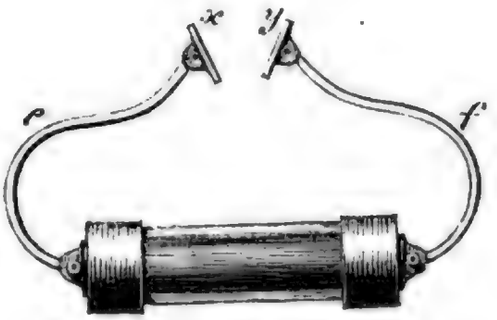


Fig. 118.



ben, durch welche er das empfindlichste aller bis jetzt bekannten Elektroskope und ein für die leichte und sichere Anstellung der Volta'schen Fundamentalversuche wahrhaft unentbehrliches Instrument wurde.

In dem Kasten, Fig. 117, befindet sich in horizontaler Lage eine Zamboni'sche Säule von 800 bis 1000 ungefähr thalergroßen Plattenpaaren. Die Säule ist mit gefirnißten Seidenfäden zusammengeschnürt und wird in einer Glasröhre luftdicht eingeschlossen, die an ihren Enden mit metallenen Kappen verschlossen ist. Diese Kappen stehen mit den Polen der Säule in leitender Verbindung, und von ihnen gehen die Metalldrähte *e* und *f*

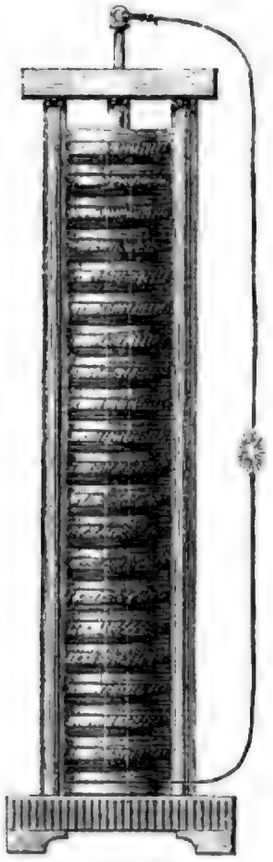
aus, die mit den Polplatten x und y endigen. Zwischen diesen Polplatten hängt, wie man in Fig. 117 sieht, das Goldblättchen an einem isolirten Metallstäbchen. Auf der einen Seite ist auf der obern Fläche des Kastens, aus dem die Polplatten hervorragen, das Zeichen +, auf der andern das Zeichen — angebracht, so daß man sogleich durch die Richtung des Ausschlags von der Natur der dem Goldblättchen mitgetheilten Elektricität unterrichtet ist.

63 **Sekundäre Säulen.** Wenn man eine Säule von Kupferscheiben und angefeuchtetem Papier aufbaut, so erhält man einen Apparat, der freilich kein Elektromotor ist, der aber nichtsdestoweniger viele Aehnlichkeit mit unseren Säulen hat und deshalb auch den Namen der sekundären Säule führt. In der That ist es nur nöthig, die beiden Enden der sekundären Säule mit den beiden Polen einer Volta'schen Säule von starker Spannung in Berührung zu bringen, so wird nach einiger Zeit diese sekundäre Säule selbst im Stande seyn, die Phänomene der Säule hervorzubringen. Trennt man sie von der Säule, welche zu ihrer Ladung diente, so zeigt sie an dem einen Pole positive, am andern negative Elektricität; sie kann sogar einige chemische Wirkungen hervorbringen. Wenn man die sekundäre Säule entladen hat, so ist sie im Stande, sich mehrere Male selbst wieder zu laden, wie dies eine trockne Säule thut. Diese Erscheinungen, welche von Ritter entdeckt wurden, erklären sich durch die unvollständige Leitungsfähigkeit des Systems. Ein einfacher Streifen feuchten Papiers, zwischen die Pole der Säule eingeschaltet, bringt dieselben Wirkungen, aber freilich in weit geringerem Maaße, hervor. Die eine Längenhälfte desselben, welche den positiven Pol der Säule berührt, ladet sich mit positiver, die andere Hälfte mit negativer Elektricität. Diese Ladung erhält sich lange Zeit, und wenn man die beiden Enden wieder in ihren natürlichen Zustand versetzt hat, so strömen die elektrischen Flüssigkeiten wieder von der Mitte her gegen die Pole hin und bringen so eine neue Ladung hervor, bis endlich, nach mehrmaligem Berühren, alle Elektricität der Ladungssäule weggenommen ist oder allmälig alle Elektricität durch die Luft sich zerstreut hat.

64 **Die geschlossene Säule.** Da die beiden Pole einer isolirten Säule immer Quellen entgegengesetzter Elektricität sind, so ist klar, daß, wenn man jeden mit einem Drahte versieht, der Draht sich mit der Elektricität seines Pols laden wird. Man hat also auf diese Weise einen positiv und einen negativ geladenen Conductor; wenn beide Conductoren mit einander in Berührung gebracht werden, muß also eine beständige Wiedervereinigung der in der Säule fortwährend entwickelten Elektricitäten stattfinden. Dies soll nun durch Fig. 119 versinnlicht werden. Wenn die beiden Drähte (die man selbst manchmal die beiden Pole nennt) einander

bis auf eine sehr kleine Entfernung genähert werden, so sieht man einen ununterbrochenen Funkenstrom von einem Drahte zum andern übergehen.

Fig. 119.



Wenn man die beiden Leitungsdrähte in unmittelbare Berührung bringt, d. h. wenn man die Kette schließt, so hört der Uebergang der Funken auf, damit sind aber nicht alle elektrischen Wirkungen zerstört. In der Säule wird fortwährend Elektricität entwickelt, und in allen Punkten des Schließungsdrahtes findet fortwährend die Wiedervereinigung der in der Säule getrennten Elektricitäten Statt. Außen scheint also Alles ruhig, im Innern aber herrscht fortwährende Thätigkeit und Bewegung. Wir werden alsbald die Wirkungen dieses ununterbrochenen elektrischen Stromes kennen lernen.

Verschiedene Formen der galvanischen Kette. Mit dem Namen der galvanischen Ketten bezeichnet man alle Apparate, welche zur Hervorbringung eines continuirlichen elektrischen Stromes dienen. In der Regel sind sie aus zwei Metallen und einer Flüssigkeit construirt. Die bisher besprochene Volta'sche Säule war der erste Apparat der Art; allein diese Form bietet mannigfache Mißstände. Die unteren Scheiben nämlich sind durch das Gewicht der oberen stärker zusammengedrückt; die feuchten Scheiben werden dadurch ausgepreßt, sie werden trocken, während die Flüssigkeit an der Seite der Säule herunterrinnt; dadurch wird aber eine leitende Verbindung zwischen den einzelnen Plattenpaaren hervorgebracht, welche den Totaleffekt schwächt. 65

Der Trogapparat, welcher längere Zeit im Gebrauche war, ist Fig. 120 und Fig. 121 dargestellt. Die einzelnen Elemente bestehen aus rechtwinkligen Platten von Kupfer und Zink, welche auf einander gelöthet sind. Diese Plattenpaare sind nun einander parallel in einem Kasten von Holz, *b b'*, dessen Wände inwendig mit einer nichtleitenden Harzschicht überzogen sind, so befestigt, daß der Zwischenraum zwischen je zwei Plattenpaaren eine Zelle, einen Trog bildet, der mit gesäuertem

Fig. 120.

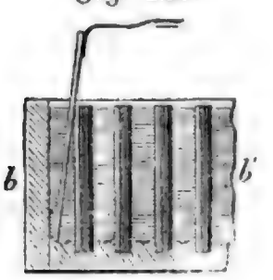
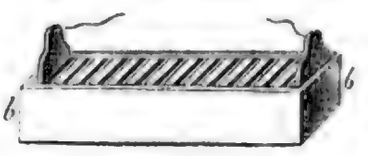


Fig. 121.



Waſſer gefüllt wird. Dieſe Waſſerſchicht, welche ungefähr 3 Linien dick iſt, vertritt hier die Stelle der feuchten Scheibe.

Bei anderen galvaniſchen Apparaten befindet ſich die Flüſſigkeit in getrennten Gefäßen oder Gläſern, die kreisförmig oder in gerader Linie zuſammengeſtellt ſind. Jedes Glas enthält eine Zink- und eine Kupferplatte, die ſich aber nicht berühren, jede Zinkplatte iſt durch einen Kupferdraht oder Kupferſtreifen mit der Kupferplatte des vorhergehenden Glaſes verbunden. In dieſe Klaſſe gehört vorzüglich die Wollaſton'ſche Batterie. Um die Conſtruction beſſer verſtehen zu können, wollen wir vorerſt zwei Plattenpaare betrachten, welche, Fig. 122 von der Seite und Fig. 123

Fig. 122.

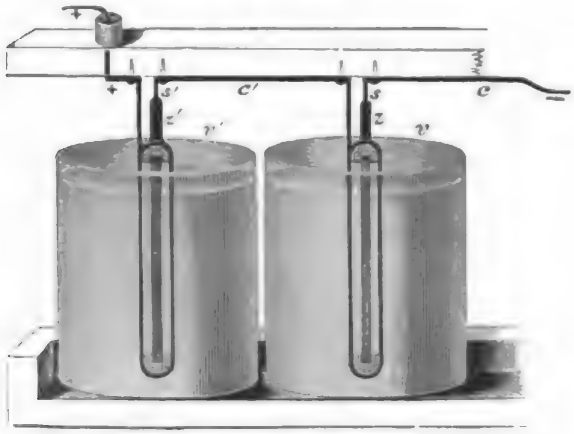
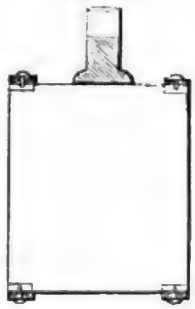


Fig. 123.



von vorn geſehen dargeſtellt ſind. Der Kupferſtreifen $c\,s$ iſt an der Zinkplatte $s\,z$ bis s angelöthet; $c'\,s'$ iſt ein zweiter Kupferſtreifen, welcher bei s' an eine zweite Zinkplatte angelöthet iſt. Der Kupferſtreifen $c'\,s'$ hängt aber mit einer Kupferplatte zuſammen, welche ganz um die erſte Zinkplatte herumgebogen iſt, ohne dieſelbe zu berühren.

Um die zweite Zinkplatte geht ebenſo eine Kupferplatte herum, die mit dem negativen Poldrahte verbunden iſt. Jedes Plattenpaar iſt in ein mit geſäuertem Waſſer gefülltes Gefäß eingetaucht. Die erſte Zinkplatte wird, in Berührung mit dem Kupferſtreifen $c\,s$, + elektriſch; dieſe poſitive Ladung geht durch die Flüſſigkeit zu der Kupferplatte über, welche das Zink ohne Berührung umgiebt, von dieſer Kupferplatte durch den Kupferſtreifen zu der zweiten Zinkplatte u. ſ. w. Dieſe Anordnung bietet große Vortheile dar. 1) Den beiden Oberflächen jeder Zinkplatte ſteht eine Kupferfläche gegenüber; 2) iſt die flüſſige Schicht, durch welche die Elektricität hindurchgehen muß, um von einer Zinkplatte auf die nächſte Kupferplatte überzugehen, äußerſt dünn, und 3) wird wegen der bedeutenden Maſſe der Flüſſigkeit in jedem Gefäße ihre Natur nicht ſo ſchnell verän-

Digitized by Google

dert als dies beim Trogapparate der Fall ist, bei welchem deshalb die Wirksamkeit außerordentlich abnimmt.

Fig. 124 zeigt die ganze Wollaston'sche Batterie von der Seite, Fig. 126 im Grundrisse, Fig. 125 von vorn. Sämmtliche Plattenpaare

Fig. 124.

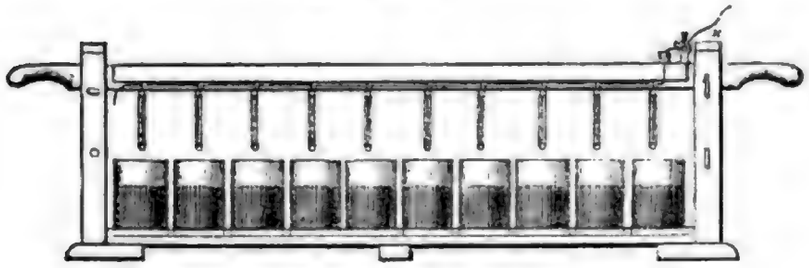


Fig. 125.

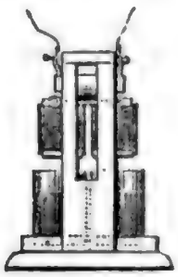
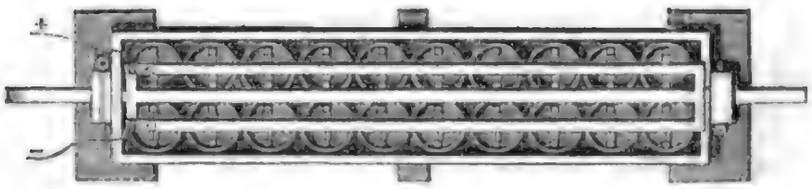


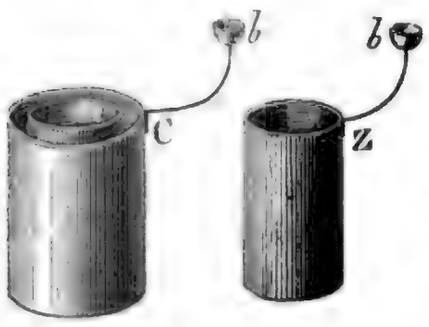
Fig. 126.



sind an einer Holzleiste befestigt, so daß man sie gleichzeitig in die Flüssigkeit eintauchen und wieder herausnehmen kann. Zur Füllung der Gefäße wendet man gewöhnlich Wasser an, dem $\frac{1}{16}$ Schwefelsäure und $\frac{1}{20}$ Salpetersäure zugesetzt ist.

Je nachdem die Volta'schen Apparate zu verschiedenen Versuchen angewendet werden sollen, kommt es bald auf die Anzahl, bald auf die Größe der Plattenpaare an. Manche Erscheinungen kann man nur mit einer Säule von vielen Plattenpaaren hervorbringen, wenn sie auch nicht groß sind, andere hingegen erfordern nur ein einziges, aber sehr großes Plattenpaar mit sehr vollkommener metallischer Schließung. Wir werden später sehen, daß durch die Größe der Plattenpaare die Quantität der circulirenden Elektricität, durch ihre Anzahl aber die elektrische Spannung vermehrt wird, welche den Strom in Bewegung setzt.

Fig. 127.



Zu solchen Versuchen, welche eine große Quantität circulirender E, aber eine geringe Spannung erfordern, wendet man die sogenannten einfachen Ketten an. Eine solche ist in Fig. 127 dargestellt. C ist ein Gefäß, welches durch zwei Cylinder von Kupferblech gebildet ist, die ungleichen Durchmesser haben, von denen der eine in

dem andern steckt und die am Boden mit einander verbunden sind, so daß ein Raum zwischen beiden bleibt, der den Zinkcylinder *Z* und das gesäuerte Wasser aufnimmt. An dem Zinkcylinder ist ein Kupferdraht angelöthet, der mit einem Näpfchen endigt, in welches Quecksilber gegossen wird. Ein ähnliches Quecksilbernäpfchen ist an dem Kupfergefäße angelöthet. Wenn man den Zinkcylinder in das Kupfergefäß hineinstellt, so muß man dafür sorgen, daß das Zink mit dem Kupfer nicht in leitende Berührung kommt. Man hindert diese Berührung am besten durch einige Stückchen Kork. Wenn man die Kette schließen will, so verbindet man die Quecksilbernäpfchen durch einen Metalldraht. Dieser Apparat hat den großen Vorzug, daß man das Zink sehr bequem reinigen kann.

Fig. 128.

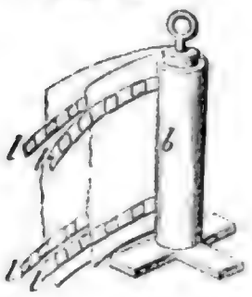
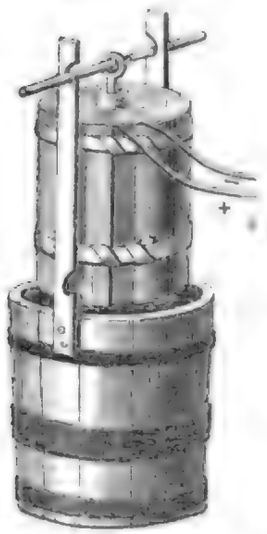


Fig. 129.



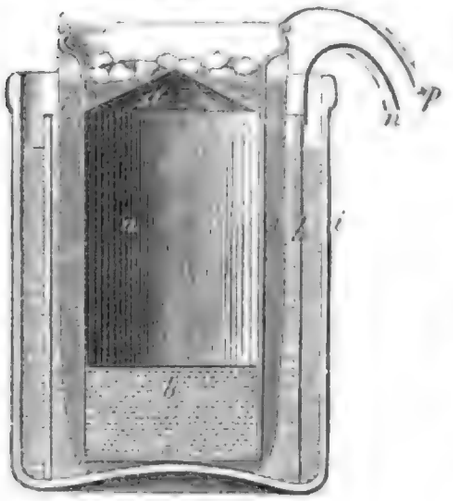
Wenn es auf eine sehr große Oberfläche der Metallplatten ankommt, wendet man Hare's Calorimotor an, welcher Fig. 128 und Fig. 129 dargestellt ist. Auf einem Holzcylinder *b*, welcher etwa 3 Zoll im Durchmesser hat und 1 bis 1,5 Fuß hoch ist, sind zwei Platten, die eine von Zink, die andere von Kupfer gleichsam aufgewickelt, welche durch Tuchstreifen *l* von einander getrennt sind. Man erhält auf diese Weise ein Plattenpaar von 50 bis 60 Quadratfuß Oberfläche. Der Name Calorimotor rührt daher, weil dieser Apparat ganz besonders geeignet ist, Metalldrähte glühend zu machen und zu schmelzen.

Bei allen den bis jetzt besprochenen einfachen und zusammengesetzten Ketten ist die Wirkung gleich nach dem Eintauchen in die saure Flüssigkeit sehr energisch, sie nimmt aber sehr rasch ab. Diese Veränderlichkeit des Stroms ist nun für immer, namentlich aber dann störend, wenn es sich darum handelt, vergleichende Versuche über die Stromkraft anzustellen. Von diesem Uebelstande sind nun die sogenannten constanten Batterien frei, die erst in neuerer Zeit in Aufnahme gekommen sind. Hier wird vor der Hand nur eine Beschreibung der wichtigsten constanten Ketten folgen, die Theorie derselben aber, sowie die Auseinandersetzung der Gründe, warum in gewöhnlichen Ketten die Stromkraft so rasch abnimmt, muß einem spätern Kapitel vorbehalten bleiben.

Als Erfinder der constanten Ketten muß Becquerel genannt werden. Die Fig. 130 stellt ein Element einer constanten Becquerel'schen

Kette dar; es besteht aus einem hohlen Cylinder *a* von ganz dünnem Kupferblech, welcher dnrch etwas Sand *b* beschwert und von allen Seiten verschlossen ist. Der untere Boden *c* ist eben, der obere *d* ist konisch, über demselben erhebt sich ein Rand *e*, in dem mehrere Löcher angebracht sind. Der ganze Cylinder ist nun mit einer Thierblase *g* umgeben, welche an dem Rande *e*, über den Löchern *f*, befestigt ist. Auf den Kegel *d* gießt man nun eine Auflösung von Kupfervitriol, welche durch die Löcher *f* ausläuft, um den Raum zwischen der Blase und dem Cylinder *a* auszufüllen; auf den Kegel *d* werden einige Stücke Kupfervitriol gelegt, welche nach und nach in der Flüssigkeit aufgelöst werden, von welcher sie immer umspült seyn müssen. Die Blase ist von einem hohlen Zinkcylinder *h* umgeben, welcher der Länge nach aufgeschlitzt ist, so daß man ihn nach Belieben etwas enger oder weiter machen kann. Dieser Zinkcylinder sowohl, wie die Blase, welche den Kupfercylinder und die Kupfervitriollösung enthält, sind in ein Gefäß *i* von Glas oder Porcellan getaucht, welches verdünnte Schwefelsäure oder eine Lösung von Zinkvitriol oder Kochsalz enthält. Zwei starke Kupferdrähte *p* und *n*, von denen der eine an den Zinkcylinder, der andere an das Kupfer angelöthet ist, bilden die beiden Pole des Elements. Stellt man zwischen diesen beiden Poldrähten eine metallische Verbindung her, so beginnt die Circulation des elektrischen Stromes.

Fig. 130.



Daniel's constante Batterie ist nur eine Modification der Becquerel'schen. Ein massiver Zinkcylinder befindet sich mit verdünnter Schwefelsäure in einer Blase oder in einem hohlen unten verschlossenen Cylinder von porösem Thon (der Masse der irdenen Pfeifen). Dieser Thoncylinder wird nun sammt seinem Inhalte in ein cylindrisches Kupfergefäß gestellt, welches mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt ist.

Die Daniel'sche Batterie ist Fig. 131 und Fig. 132 (a. f. S.) dargestellt. Die letzte dieser beiden Figuren zeigt den obern Theil eines Elements, die erste die ganze Batterie. *e f g h* ist der Thoncylinder, der mit Schwefelsäure gefüllt ist und in dessen Mitte sich ein massiver Zinkcylinder *m* befindet. Der Thoncylinder selbst steht in der Mitte eines mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllten Kupfercylinders. Am obern Ende des Kupfercylinders befindet sich ein Behälter *i k*, welcher an den

Seiten und am Boden durchlöchert iſt. Dieſer Behälter nun iſt mit Stücken von Kupfervitriol angefüllt, welche beſtändig mit der Flüſſigkeit

Fig. 131.

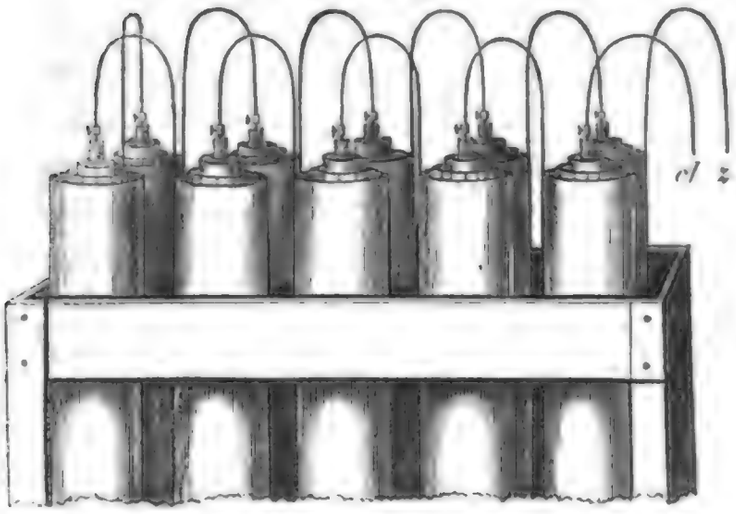
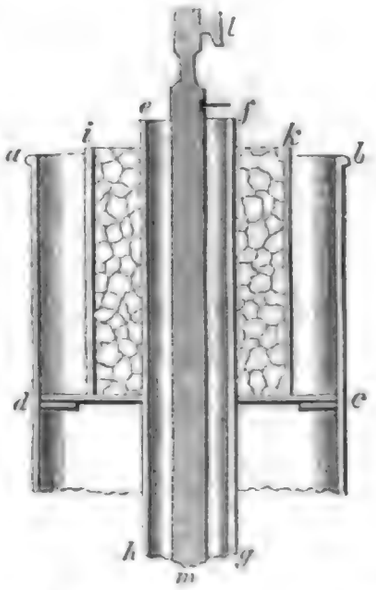


Fig. 132.

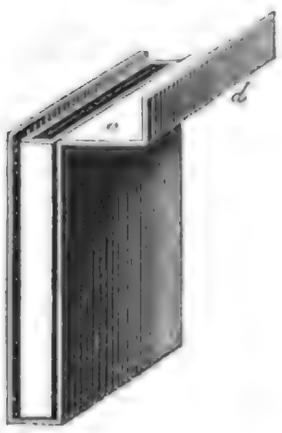


des Kupfercylinders in Berührung ſind; in dem Maaße nun, als ſich während der Circulation des Stromes metalliſches Kupfer an den Wänden des Kupfergefäßes abſcheidet, wird oben eine entſprechende Menge des Salzes aufgelöſ't.

Jeder Zinkcylinder iſt mit dem Kupfergefäße des folgenden Paares durch einen Draht verbunden, wie man Fig. 131 ſieht.

Bei beiden Apparaten kommen zwei Flüſſigkeiten vor, welche entweder durch die Thierblaſe oder durch die poröſe Thonmaſſe getrennt ſind. Dieſe Scheidewand hindert jedoch nicht, daß die beiden Flüſſigkeiten in Berührung kommen, ſie hindert nur ihre Miſchung. Bei der Becquerel'ſchen Kette iſt die Löſung des Kupfervitriols innerhalb, bei der Daniel'ſchen außerhalb der Scheidewand.

Fig. 133.



Die Grove'ſche Batterie iſt aus Zink und Platin conſtruirt; die Fig. 133 ſtellt ein Element derſelben dar. Die Zinkplatte iſt in der Weiſe gebogen, daß ſie gleichſam eine Zelle bildet, die aber oben und auf beiden Seiten offen iſt; in dieſer Zelle ſteht ein rechtwinkliger Trog von poröſem Thon, der mit Salpeterſäure gefüllt iſt. An das hervorſtehende Ende *c d* der Zinkplatte iſt ein Platinblech mittelſt einer meſſingenen Klemme angepreßt, welches in die Thonzelle des vorigen Paares hinabhängt. Ein ſolches Platinblech iſt ſo groß, daß es faſt die ganze

Breite und Höhe einer Thonzelle einnimmt. In die in unserer Figur dargestellte Thonzelle hängt das Platinblech des folgenden Paares herunter.

Jede Zinkplatte mit ihrer Thonzelle ist in ein rectanguläres Gefäß von Porzellan oder Glas eingetaucht, welches mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist, und diese Gefäße sind dann auf einem Gestelle von Holz zusammengestellt.

So vortrefflich auch die Wirksamkeit der Grove'schen Batterie ist, so steht ihrer allgemeineren Verbreitung doch die Kostbarkeit des Platins hindernd in dem Wege. In dieser Hinsicht besonders verdient Bunsen's constante Zink-Kohlenbatterie allgemeine Empfehlung, da man mit dieser Einrichtung ganz ungemein kräftige Wirkungen mit einem verhältnißmäßig sehr geringen Kostenaufwande hervorbringen kann.

In der Bunsen'schen Batterie ist das Platin durch die noch mehr elektronegative Kohle ersetzt, und zwar wird die Kohle in Form von hohlen Cylindern angewendet. Ein solcher hohler, unten offener Cylinder von 120^{mm} Höhe, 64^{mm} Durchmesser und ungefähr 6^{mm} Wanddicke ist, wie man in Fig. 134 sieht, in ein Glasgefäß gestellt, welches oben etwas enger ist, so daß hier kein merklicher Zwischenraum zwischen der Kohle und dem Glase bleibt, der Cylinder also ganz fest im Glase steht. In die Höhlung des Kohlencylinders wird nun ein hohler unten verschlossener Cylinder von poröse m Thon gestellt, welcher bei einer Höhe von ungefähr 105^{mm} einen solchen Durchmesser hat, daß er eben in die Höhlung des Kohlencylinders paßt und zwischen dem Thon und der Kohle nur noch ein ganz geringer Zwischenraum bleibt. Die Thonzelle wird mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, das Glas aber enthält so viel concentrirte Salpetersäure, daß, wenn der Thoncylinder eingesetzt ist, fast der ganze noch freie Raum des Glases bis zum engern Halse mit dieser Flüssigkeit angefüllt ist.

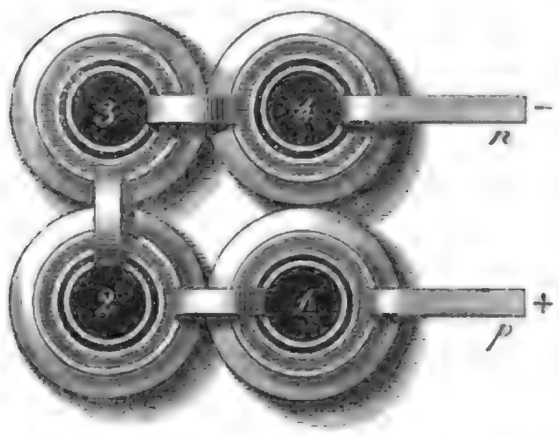
Fig. 134.

Das obere Ende des Kohlencylinders ragt aus dem Glase hervor und ist schwach conisch abgedreht, so daß ein ebenfalls etwas weniges conischer Ring *a* von Zink fest aufgesetzt werden kann. Der Ring trägt vermittelst des Zinkbügels *b* einen hohlen Zinkcylinder *c*, welcher ungefähr 87^{mm} hoch ist und 40^{mm} im Durchmesser hat. Dieser Cylinder *c* hängt in die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Thonzelle des folgenden Glases.

Wie ein Zinkkohlenpaar mit dem nächsten verbunden ist, sieht man

deutlich aus Fig. 135, welche eine Combination von 4 Paaren im Grundrisse darstellt. Die Kohlencylinder sind durch horizontale Schraffirung unterschieden. Innerhalb eines jeden Kohlencylinders sieht man in der Figur zwei weiße Ringe; der äußere derselben stellt den von oben gesehenen Thoncylinder, der innere den Zinkcylinder dar. Der Zinkcylinder des ersten Glases ist durch einen Bügel mit dem Zinkringe verbunden, welcher den Kohlencylinder des zweiten Glases umfaßt. Ebenso verbindet ein Zinkbügel den Zinkcylinder des zweiten mit dem Zinkringe des dritten Glases, und ein dritter Bügel verbindet den dritten Zinkcylinder mit dem vierten Zinkringe. Der Ring, welcher auf dem ersten Kohlencylinder aufsitzt, endigt mit einem Zinkstreifen, welcher als positiver Pol dient; der Zinkstreifen *n*, mit welchem der Zinkcylinder im vierten Glase endigt, ist der negative Pol der Kette.

Fig. 135.



Auf dieselbe Weise werden Ketten von beliebig vielen Paaren zusammengesetzt.

In jedem einzelnen Paare geht der positive Strom von dem die Kohle umschließenden Zinkringe durch den Bügel zum Zinkcylinder des nächsten Glases, von diesem durch die verdünnte Schwefelsäure, durch die Poren der Thonzelle und die Salpetersäure zur nächsten Kohle u. s. w.

Ueber die Bereitung der Kohlencylinder ist noch Folgendes zu sagen: Man erhält die Kohlenmasse durch Glühen eines durchgesiebten Gemenges von völlig ausgeglühten Coaks mit ebenfalls fein pulverisirten, möglichst backenden Steinkohlen, die man in dem annähernden Verhältnisse von 1 zu 2 mit einander mischt. Zeigt sich die Masse nach dem Glühen zu zerreiblich und locker, was bei Anwendung weniger fetter Steinkohlen der Fall zu seyn pflegt, so muß das Verhältniß der letzteren gegen das der Coaks vermehrt werden. Ist dagegen die Steinkohle überwiegend, so zerklüftet sich die Kohle in einzelne nicht zusammenhängende Stücke. Hat man das richtige Verhältniß der Gemengtheile für eine Kohlenart einmal ermittelt, so ist ein Mißlingen der Darstellung später nicht mehr zu befürchten. Das Glühen geschieht bei mäßigem Kohlenfeuer in Formen von Eisenblech, welche 10 bis 12 Operationen aushalten.

Um die hohlen Cylinder zu erhalten, wird eine cylindrische Holzschachtel in die Blechform gestellt und der Zwischenraum zwischen der hölzernen und

eisernen Wandung mit dem Kohlengemenge ausgefüllt. Die bedeutende Volumenveränderung, welche die Kohle beim Glühen erleidet, erlaubt nicht, diese Schachtel durch eine Blechrolle zu ersetzen.

Die auf diese Art bereitete Kohle besitzt zwar schon eine hinreichende Festigkeit, allein sie gestattet in dieser Form wegen ihrer großen Porosität noch keine Anwendung. Um ihr die nöthige Dichtigkeit und eine den härteren Gesteinen an Festigkeit kaum nachstehende Beschaffenheit zu ertheilen, tränkt man sie vor dem zweiten Glühen in concentrirter Zuckerlösung, zu der man die schlechtesten Zuckerabfälle benutzen kann, und trocknet sie darauf, bis der Zucker in der Form wieder fest geworden ist. Leitungsfähigkeit und elektromotorische Kraft erlangt die Kohle erst dadurch, daß man sie in einem mit Kohlenstücken ausgefüllten, bedeckten feuerfesten Gefäße der mehrstündigen Einwirkung einer starken Weißglühhitze aussetzt, was am leichtesten in einem gewöhnlichen Töpferofen geschieht. Die nach diesen Angaben bereitete Kohle ist vollkommen homogen, wenig porös, nicht im mindesten abfärbend, klingend und so fest, daß ein 6 Loth schwerer, 3 Linien dicker hohler Cylinder, ohne zu zerbrechen, 4—6 Fuß tief auf Holz fallen kann.

Die rohe Bearbeitung dieser Cylinder geschieht vor ihrem Eintauchen in die Zuckerlösung vermittelst einer Reibe aus Blech. Um sie gehörig cylindrisch zu machen, werden sie nach dem zweiten Glühen auf der Drehbank innen und außen abgedreht.

Physiologische Wirkungen der Säule. Die Nervenzuckungen, 66
welche die Elektricität der Volta'schen Säule hervorbringt, sind nicht weniger heftig, als die der gewöhnlichen elektrischen Batterieen; ihre Stärke hängt besonders von der Anzahl der Plattenpaare, also von der Größe der Spannung ab. Um den Entladungsschlag der Säule durch den menschlichen Körper zu leiten, muß man die Hände etwas anfeuchten, am besten mit Salzwasser, denn die Epidermis ist ein sehr schlechter Leiter. Berührt man mit trocknen Fingern die beiden Pole einer Säule von 20 bis 30 Paaren, so fühlt man nicht den mindesten Schlag, er wird aber sogleich merklich, wenn man die Hände befeuchtet hat. Der Schlag einer Säule von 80 bis 100 Paaren ist sehr empfindlich.

Man empfindet einen Schlag in dem Momente, in welchem man die Kette durch die Finger schließt; so lange die Kette geschlossen bleibt, circulirt der elektrische Strom durch den Körper, ohne eine sehr merkliche Wirkung auf das Gefühl hervorzubringen, nur bei kräftigen Säulen von vielen Plattenpaaren empfindet man während des Geschlossenseyns ein brennendes singelndes Gefühl an den Stellen, wo der Strom in den Körper eingeführt wird. Einen zweiten Schlag empfindet man aber in dem Augenblicke, in welchem man die Kette wieder öffnet; dieser letztere Schlag,

der Trennungsschlag, ist aber bei weitem schwächer als der Schließungsschlag.

Wenn man einen Finger mit dem einen Pole der Säule in Berührung läßt, den Finger am andern Pole aber in rascher Aufeinanderfolge abhebt und wieder aufsetzt, so folgen die Schläge ebenso rasch auf einander. Neef hat eine besondere Vorrichtung, das Blitzrad, construirt (Pogg. Ann. Bd. XXXVI. S. 352), vermittelst dessen es möglich ist, den durch den Körper geleiteten Strom der Volta'schen Säule sehr rasch zu unterbrechen und wieder zu schließen. Durch diese schnelle Folge der Schließungs- und Trennungsschläge wird die Wirkung auf die Nerven außerordentlich gesteigert. Die Empfindung nähert sich mehr derjenigen, welche der continuirliche Strom einer sehr kräftigen Säule hervorbringt, kann aber leicht bis zum Unerträglichen gesteigert werden.

In den ersten Zeiten nach der Entdeckung des Galvanismus wurden zahlreiche Versuche über die medicinische Wirksamkeit galvanischer Ströme gemacht. Man versuchte, Nervenschmerzen, Gicht, Rheumatismus, Gliederlähmung u. s. w. zu heilen; man leitete die Ströme vermittelst metallischer Armaturen durch die afficirten Organe und vermehrte allmälig die Zahl der Plattenpaare, um die Wirkungen kräftiger zu machen. Die für medicinische Zwecke geeignetsten Apparate werden wir weiter unten kennen lernen. Es scheint wohl jetzt ausgemacht zu seyn, daß gewisse Uebel durch eine mit Einsicht geleitete galvanische Behandlung geheilt werden kö[illegible].

Der galvanische Strom wirkt auch auf die Nerven frisch getödteter Thiere, denn, wie wir gesehen haben, werden Froschschenkel schon durch eine einfache galvanische Kette in Zuckungen versetzt.

Scheintodte oder ohnmächtige Thiere werden durch galvanische Schläge wieder ins Leben zurückgerufen.

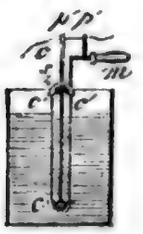
Schon durch eine einfache Kette läßt sich eine blitzähnliche Erscheinung in den Augen hervorbringen. Man kann den Versuch auf mannigfache Weise anstellen; man bringt z. B. eine Silberplatte an den Augapfel selbst oder an das zuvor gut angefeuchtete Augenlied und berührt sie darauf mit einem Zinkstücke, welches man in der wohl angefeuchteten Hand hält oder im Munde stecken hat. Leitet man den Strom einer Säule durch die Augen, so wird die Lichterscheinung stärker.

Legt man ein Zinkstück auf, ein Silberstück unter die Zunge, bringt man alsdann die vorderen Enden beider Metalle in Berührung, so empfindet man einen eigenthümlich bittern Geschmack. Auch dieser Versuch ist auf mannigfache Weise abgeändert worden.

67 **Physikalische Wirkungen der Säule.** Die galvanischen Ströme bringen, wie die der Reibungselektricität, Wärme und Licht hervor.

Wenn man einen galvanischen Strom durch einen Metalldraht leitet, so erwärmt er sich; damit aber eine kräftige Wirkung erhalten wird, muß der Schließungsdraht recht kurz und dünn seyn. Die Stärke der Erhitzung richtet sich nach der Größe der Metallplatten und nicht nach ihrer Anzahl. Um Metalldrähte glühend zu machen, hat man nure ine einfache Kette von sehr großer Oberfläche nöthig, wie die Fig. 136 dargestellten. Ein Bunsen'scher Apparat eignet sich auch ganz vorzüglich zu diesen Glühversuchen. Je größer die wirkende Oberfläche des galvanischen Apparates ist, desto dickere Drähte kann man damit glühend machen und schmelzen.

Fig. 136.



Eisen- und Stahldraht wird weißglühend, schmilzt und verbrennt unter lebhaftem Funkenſprühen.

Platindraht wird lebhaft glühend und schmilzt ab, wenn er für die angewandte Kette kurz und dünn genug ist.

Dünne Goldblättchen werden verflüchtigt, und da man die Pole mit ihnen nicht berühren kann, ohne daß sie sich an der Berührungsstelle in Dampf verwandeln, so wird die Kette fortwährend unterbrochen und wieder geschlossen, und dabei sieht man eine Menge kleiner blitzender Funken von grünlicher Farbe überspringen. Silberblättchen zeigen ähnliche Erscheinungen.

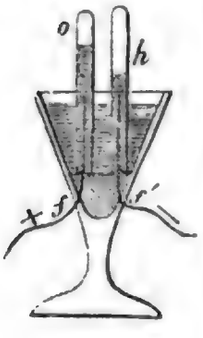
Eine der interessantesten durch die Säule hervorgebrachten Licht- und Wärmeerscheinungen ist H. Davy's Versuch mit Kohlenspitzen. An einer großen Glocke oder einem Ballon von 10 bis 12 Zoll Durchmesser sind diametral gegenüberstehend zwei Lederbüchsen angebracht, durch welche zwei Metallstäbe hindurchgehen, die man bis zur Berührung einander nähern und nach Belieben von einander entfernen kann. Am Ende eines jeden Metallstabes ist ein Kegel von Kohle (am besten von der Masse der Bunsen'schen Cylinder) befestigt, der aber das Metall mit einer großen Oberfläche berühren muß. Der Apparat wird luftleer gemacht, die Kohlenspitzen fast bis zur Berührung genähert; läßt man nun den Strom einer kräftigen Säule, d. h. den Strom einer Säule von vielen und großen Plattenpaaren, hindurchgehen, so geht der Strom zwischen den Kohlen über, deren Spitzen erhitzt werden und mit einem so blendenden Lichte leuchten, daß es die Augen kaum ertragen können. Wenn einmal der Strom im Gange ist, kann man auch die Spitzen allmälig von einander entfernen, ohne daß die Elektricität aufhört, den leeren Raum zwischen den Spitzen zu durchströmen; auf diese Weise bildet sich ein ungemein glänzender Lichtbogen.

Zur Hervorbringung dieses Kohlenlichtes ist der luftleere Raum nicht wesentlich nothwendig, nur wird im lufterfüllten Raume die Kohle zum Theil verzehrt.

Das helle Licht zwischen Kohlenspitzen läßt sich schon mit einem Bunsen'schen Apparate von 4 Elementen zeigen. Man hat zu diesem Ende nur zwei Kohlenstücke, die in derselben Weise präparirt sind wie die Kohlencylinder, mit den Polen *n* und *p* und dann die Kohlenstücke selbst in Berührung zu bringen. Die Berührung zwischen einem solchen Kohlenstücke und einem Pole muß in möglichst vielen Punkten stattfinden, die Kohlen selbst müssen sich aber nur in einer Spitze berühren; an der Berührungsstelle erscheint ein kleiner ungemein leuchtender Stern. Wenn man die Zahl der Elemente vermehrt, so nimmt der Glanz der Erscheinung außerordentlich zu; mit einer Kette von 30 bis 50 Elementen erhält man ein Licht, welches das Drumond'sche Kalklicht weit übertrifft. Bei Anwendung so vieler Paare kann man auch die Kohlenspitzen, wenn einmal der Strom übergeht, ziemlich weit von einander entfernen, und so erhält man durch die glühenden Kohlenpartikeln, welche von einem Pole zum andern übergehen, das herrliche Phänomen eines Lichtbogens.

68 **Chemische Wirkungen der Volta'schen Säule.** Die erste und wichtigste chemische Wirkung der Säule wurde zu Anfange dieses Jahrhunderts (30. April 1800) von Carlisle und Nicholson entdeckt. Diese beiden Physiker hatten, um die Volta'schen Versuche zu wiederholen, in der Eile eine Säule von Geldstücken, Zinkplatten und feuchten Pappscheiben aufgebaut. Nach einigen Versuchen wurde der eigenthümliche Geruch von Wasserstoffgas merklich, und Nicholson kam, dadurch veranlaßt, auf den glücklichen Gedanken, den Strom durch eine Röhre mit Wasser gehen zu lassen, indem er die beiden Poldrähte in dasselbe eintauchte und in einer kleinen Entfernung von einander hielt. Bald stieg das Wasserstoffgas in kleinen Bläschen am negativen Pole auf, während der positive, aus Zink bestehende Poldraht sich oxydirte. Wird für den positiven Poldraht Platin oder Silber genommen, so oxydirt er sich nicht, sondern das Sauerstoffgas steigt ebenfalls in Bläschen in die Höhe. — So war denn endlich das Wasser direct in seine Elemente zerlegt. Cavendish hatte zwar schon gezeigt, daß Sauerstoff und Wasserstoff sich zu Wasser verbinden, aller Anstrengung ungeachtet war aber die directe Zersetzung des Wassers noch nicht gelungen. Ein passender Apparat zur Wasserzersetzung ist Fig. 137 dargestellt. Er besteht aus einem Glase, in dessen Boden zwei Platindrähte *f* und *f'* eingeschmolzen sind, welche sich jedoch nicht berühren dürfen. Zwei Glasglöckchen *o* und *h* sind mit Wasser gefüllt und umgestürzt in das Glas eingesetzt, so daß sich über jedem der beiden Drähte ein solches Glöckchen befindet. Sobald man nun die Drähte *f* und *f'* mit den Polen der Kette in Verbindung bringt,

Fig. 137.

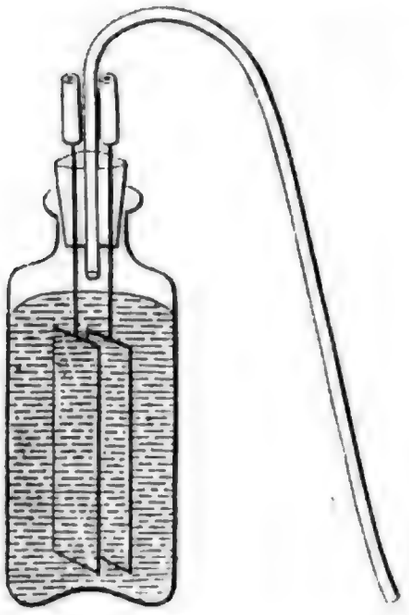


entwickeln sich Gasblasen in reichlichem Maaße. Reines Sauerstoffgas steigt immer in dem einen Glöckchen über dem positiven Pole auf, das Wasserstoffgas im andern. Es versteht sich von selbst, daß das Wasser in den Glöckchen von dem Wasser in dem Gefäße nicht abgesperrt seyn darf, damit der Strom von einem Drahte durch die Flüssigkeit zum andern gelangen könne.

Die Gasentwickelung ist um so lebhafter, je näher die Poldrähte *f* und *f'* einander sind und je größer die Oberfläche des Metalls ist, welche mit dem Wasser in Berührung steht. Man hat deshalb bei vielen Apparaten, welche zur Wasserzersetzung dienen sollen, die Drähte durch Platinplättchen ersetzt.

Das destillirte und vollkommen reine Wasser wird auf diese Weise doch nur langsam zersetzt, sobald man aber nur einige Tropfen irgend einer Säure zugießt oder einige Körnchen Salz im Wasser auflös't, wodurch sein Leitungsvermögen bedeutend erhöht wird, beginnt eine sehr lebhafte Gasbildung, so daß man in kurzer Zeit eine ziemlich bedeutende Menge der Gase auffangen kann. Wie die Quantität der gebildeten Gase von der Stromstärke abhängt, werden wir später sehen.

Fig. 138.



Wenn es nicht darauf ankommt, die beiden Gasarten getrennt aufzufangen, kann man sich des Apparates Fig. 138 bedienen, in welchem mehr Wasser zersetzt wird, weil zwei größere Polplatten von Platin sich viel näher stehen. Das Knallgas entweicht durch eine gebogene Röhre, und wenn man die Oeffnung derselben unter Wasser taucht, so kann man das Gas auffangen oder die einzelnen entweichenden Blasen sogleich verpuffen.

Die Sauerstoffmenge, welche am positiven Pole frei und in der Röhre *o*, Fig. 137, gesammelt wird, ist dem Volumen nach immer nur halb so groß als die des Wasserstoffs, welcher am anderen Pole frei wird und in der Röhre *h* aufsteigt. Die Gase werden also gerade in dem Verhältnisse ausgeschieden, in welchem sie sich zu Wasser verbinden. Das Wasser besteht bekanntlich aus 1 Aequivalente Sauerstoffgas + 1 Aeq. Wasserstoff. Ein Aeq. Wasserstoffgas aber nimmt unter fast gleichen Umständen einen doppelt so großen Raum ein als 1 Aeq. Sauerstoff. Die durch die Säule ausgeschiedenen Gase würden also, mit einander verbunden, wieder Wasser geben.

Grotthuß hat von dieser merkwürdigen Erscheinung folgende Erklärung gegeben, welche jetzt von fast allen Physikern als die richtige angenommen wird. Wenn Wasserstoffgas mit Sauerstoff zu Wasser verbunden ist, so werden bei dieser innigen Berührung der kleinsten Theilchen die Sauerstoffatome negativ, die Wasserstoffatome positiv elektrisch; wegen der gleichförmigen Vertheilung der Theilchen beider Substanzen aber zeigt natürlich die Verbindung keine freie Elektricität. Wenn sich nun Wasser zwischen den beiden Polen einer galvanischen Kette befindet, so wird der positive Pol auf die zunächstliegenden Wassertheilchen in der Weise wirken, daß der negative Bestandtheil angezogen und dem positiven Pole zugekehrt wird, während das abgestoßene Wasserstoffatom des ersten Wassermolekûls von dem positiven Pole abgewendet ist. Das Wassertheilchen 1 wirkt aber auf das Wassertheilchen 2 in der Weise, daß es seine Elemente nach derselben Seite hin kehrt; in derselben Weise wirkt 2 auf 3 u. s. w. So kommt es denn, daß alle Wassermolekûle zwischen den beiden Polen ihr Sauerstoffatom dem positiven Pole, ihr Wasserstoffatom dem negativen Pole zukehren, ungefähr so, wie es Fig. 139 versinnlicht, wo die Kreischen Wassertheilchen darstellen, und zwar die schwarzen Hälften das Wasserstoffatom, die weißen das Sauerstoffatom. Wenn nun die Anziehung, welche der positive Pol auf das Sauerstoffatom des Wassertheilchens 1 ausübt, groß genug ist, so wird es gleichsam seinem Wasserstoffatome entrissen; dieses Wasserstoffatom verbindet sich wieder mit dem Sauerstoffe des Wassertheilchens 2; der Wasserstoff von 2 verbindet sich mit dem Sauerstoff von 3 u. s. w. Auf diese Weise geht auf der ganzen Strecke zwischen beiden Polen eine beständige Zersetzung und Wiederbildung von Wasser vor sich, nur an den Polen selbst können die Bestandtheile desselben frei werden.

Fig. 139.

Gerade so wie zwischen den Polen findet auch in allen Zellen der galvanischen Kette eine Wasserzersetzung Statt.

Die Oxyde werden ebenso durch die galvanische Kette zerlegt wie das Wasser. Sauerstoff erscheint am + Pol, das Radikal am — Pol. Für leicht reducirbare Metalloxyde kann man den Versuch auf folgende Weise machen: Auf ein Platinblech, welches mit dem + Pol der Säule in Verbindung ist, streut man etwas von dem trocknen pulverförmigen Oxyde und berührt dann dieses Pulver mit dem negativen Drahte, so sieht man bald am dem Ende des Drahtes kleine Metallkügelchen erscheinen. Schwerer reducirbare Oxyde müssen, besonders wenn sie pulverförmig sind, etwas mit Wasser angefeuchtet werden. Freilich wird auch das Wasser zum Theil zerlegt, es dient aber auch, um die Leitungsfähigkeit zu vergrößern; nach einiger Zeit sieht man, wenn die Säule

kräftig genug ist, kleine Metallkügelchen am negativen Pole erscheinen.

Eine neue Epoche der Wissenschaft begann mit der im Jahre 1807 von Davy mit Hülfe der Säule gemachten Entdeckung der Zerlegbarkeit der Alkalien, welche man bis dahin für einfache Körper gehalten hatte. Die Alkalien und Erden wurden dadurch in die Klasse der Oxyde zurückgeführt und die Chemie mit zwei neuen metallischen Körpern, Kalium und Natrium, bereichert. Um Kali zu zerlegen, muß man eine sehr kräftige Säule anwenden. Macht man den Versuch in der oben angegebenen Weise, so sieht man zahlreiche Metallkügelchen am negativen Pole erscheinen und unter Funkensprühen wieder verschwinden. Es ist dies das Kalium, welches bei der Zerlegung des Kali's frei wird. Seine Verwandtschaft zum Sauerstoffe ist aber so groß, daß es sich, mit der Luft in Berührung, sogleich wieder oxydirt, wenn es aber mit Wasser in Berührung kommt, so entzieht es diesem den Sauerstoff und entzündet das Wasserstoffgas, daher denn die Feuererscheinung. Man muß deshalb das Kalium in einer nicht sauerstoffhaltigen Flüssigkeit aufbewahren. Man gebraucht zu diesem Zwecke gewöhnlich Steinöl, welches aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammengesetzt ist.

Seebeck hat ein Mittel angegeben, um das durch die Säule ausgeschiedene Kalium sicherer zu sammeln. In ein Stück kaustischen Kali's, welches zersetzt werden soll, wird eine Höhlung gemacht und Quecksilber in dieselbe gegossen. Das Kali wird dann auf ein mit dem positiven Pole der Säule in Verbindung stehendes Platinstück gelegt, das negative Drahtende aber in das Quecksilber getaucht. Alsbald geht die Zersetzung vor sich, Sauerstoff wird am Platin frei, das Kalium aber verbindet sich mit dem Quecksilber zu einem ziemlich beständigen Amalgam. Durch Destillation in einer Atmosphäre von Steinöldampf kann man alsdann das Quecksilber abscheiden und das Kalium in reinem Zustande erhalten.

Auch die Salze werden durch den galvanischen Strom zerlegt, und zwar erscheint die Säure am positiven, die Basis am negativen Pole. Die Zerlegung der Salze läßt sich dem Auge auf folgende Weise sehr gut sichtbar machen. Man fülle eine Vförmig gebogene Röhre, Fig. 140, mit einer Salzlösung, die durch Lackmustinctur violet gefärbt ist. Taucht man nun auf der einen Seite den positiven, auf der andern den negativen Poldraht in die Flüssigkeit, so wird sie sich am positiven Pole roth, am negativen blau färben. Vertauscht man nun die Pole, so stellt sich erst allmälig die ursprüngliche violete Färbung wieder her, dann aber erscheint Roth da, wo vor der Vertauschung der Drähte Blau war, und umgekehrt.

Fig. 140.

Gießt man eine Salzlösung in zwei neben einander

stehende Gefäße, die durch ein feuchtes Asbestgewebe oder durch einen Aförmigen mit der Flüssigkeit gefüllten Heber verbunden sind, taucht man dann in das eine Gefäß den positiven, in das andere den negativen Poldraht, so geht die Zersetzung ebenfalls vor sich, und nach einiger Zeit findet sich die Säure in dem Gefäße, in welchem der positive Draht eingetaucht ist, die Basis im andern. Selbst wenn man in das Gefäß *A*, welches den positiven Poldraht enthält, die basische Lösung, in das andere, *B*, aber die Säure gießt, so findet sich nach einiger Zeit die Säure in *A*, die Basis in *B*. Man hat diese Versuche auf mannigfache Weise abgeändert.

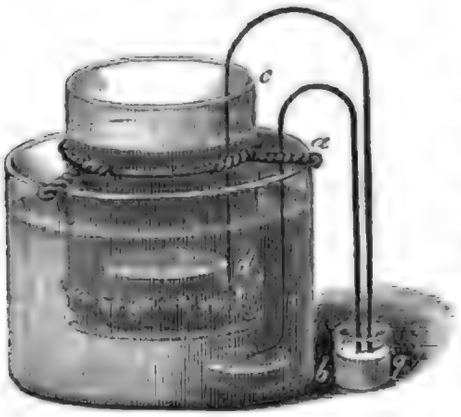
Nicht immer wird eine Salzlösung durch den galvanischen Strom in Säure und Basis, häufig nämlich wird nur die Säure oder die Basis zerlegt. Eine Auflösung von Kupfervitriol z. B. wird in der Weise zerlegt, daß sich das Kupfer an dem negativen Pole ausscheidet, während der Sauerstoff des Kupferoxyds auf der andern Seite aus seiner bisherigen Verbindung austritt. Sehr schön geht diese Zersetzung des Kupfervitriols in der Seite 141 beschriebenen constanten Kette von Becquerel und in der Daniel'schen vor sich. Wenn die Kette geschlossen ist, so geht der positive Strom vom Zink durch die verdünnte Schwefelsäure, dann durch die Kupfervitriollösung zum Kupfer. Wird das Zink, in Berührung mit dem Kupfer, + elektrisch, das Kupfer — elektrisch, so ist Zink also der positive, das Kupfer der negative Pol, der positive Strom tritt also beim Zink, der negative am Kupfer in die Flüssigkeit ein. Auf der einen Seite der Scheidewand wird nun Wasser zerlegt, der Sauerstoff geht an das Zink, um Zinkoxyd zu bilden, welches sich in der Säure auflös't, wodurch dann Zinkvitriol entsteht. Das Wasserstoffgas geht bis an die Scheidewand und bildet dort gleichsam den positiven Pol für den Strom, der nun in die andere Flüssigkeit übergeht. Das Kupferoxyd wird durch diesen Strom zerlegt, der Sauerstoff des Oxyds wandert zum positiven Pole, also zur Scheidewand, wo er sich mit dem auf der andern Seite ausgeschiedenen Wasserstoffe zu Wasser verbindet, während das Kupfer am negativen Pole, also an der Kupferplatte metallisch ausgeschieden wird.

Von diesem metallischen Niederschlage des Kupfers hat man eine höchst interessante Anwendung gemacht, welche unter dem Namen der Galvanoplastik bekannt ist; man braucht nämlich nur dem negativen Elemente einer solchen Combination eine bestimmte Form zu geben, um Abdrücke dieser Form von metallischem Kupfer zu erhalten.

Um die Becquerel'sche Kette zu diesem Zwecke anzuwenden, muß man ihr eine etwas andere Gestalt geben. Zur Vervielfältigung von Münzen, Medaillen u. s. w. eignet sich ganz besonders der in

Fig. 141 dargestellte Apparat. *a b* ist ein oben offenes, etwa 6—8 Zoll im Durchmesser haltendes Glasgefäß. In dieses hängt ein zweites engeres Glasgefäß *c d* von oben hinein, welches unten mit einer Thierblase zugebunden ist. Etwas über der Mitte ist um dieses engere Glasgefäß ein Draht fest herumgewunden, der in drei Armen ausläuft, welche, auf dem Rande des äußeren Glasgefäßes aufliegend, das innere tragen, so daß die Blase noch 1,5 bis 2 Zoll hoch über dem Boden des größern Gefäßes sich befindet. Das innere Gefäß wird nun mit sehr verdünnter Schwefelsäure, der Zwischenraum zwischen dem inneren und dem äußeren Cylinder mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt. In der verdünnten Schwefelsäure ruht auf einem Kreuze von Holzstäbchen ein Zinkblock, an welchen ein Kupferdraht gelöthet ist, welcher den Zinkblock mit dem Quecksilbernäpfchen *q* verbindet. Aus dem Quecksilber dieses Näpfchens geht ein zweiter Kupferdraht zu der in der Kupfervitriollösung liegenden Form, welche nothwendig aus einem Stoffe bestehen muß, welcher mehr elektronegativ ist als Zink.

Fig. 141.



Eine solche Form kann man sich verschaffen, wenn man von der zu vervielfältigenden Münze einen Abguß von der leichtflüssigen Rose'schen Metalllegirung macht. Noch leichter sind Formen von Wachs und Stearin zu machen. Man schmilzt Wachs und Stearin mit etwas fein gepulvertem Graphit zusammen und gießt die Flüssigkeit auf die mit einem Papierrande versehene Münze, so erhält man eine sehr schöne Form. Diese Form ist aber nicht leitend, sie wird es erst dadurch, daß man die Fläche der Form, auf welcher sich das Kupfer absetzen soll, mit einer sehr dünnen zarten Schicht von feiner Kupferbronce überzieht. Dieser Ueberzug, welcher mit Hülfe eines zarten Pinsels gemacht wird, benimmt der Form durchaus nichts an Reinheit und Schärfe. Die Form wird in die Kupfervitriollösung so gelegt, daß die leitend gemachte Oberfläche nach oben gekehrt ist. Der Kupferdraht braucht mit der feinen Graphitschicht der Form nur eben in Berührung zu seyn.

Derjenige Theil des Kupferdrahtes, welcher in die Lösung von Kupfervitriol eingetaucht ist, muß mit Schellack oder Siegellack überzogen seyn, weil sich sonst auch auf diesem Drahte metallisches Kupfer absetzt; nur da, wo er auf die Form aufgesetzt ist, muß er metallisch seyn.

Der Strom, welcher durch den Apparat circulirt, ist nur schwach; das Kupfer setzt sich langsam auf die Kupferfläche ab, und zwar setzt es sich zunächst um den Kupferdraht an; man muß deshalb von Zeit zu Zeit

den Draht an einer andern Stelle der Form aufſetzen. Je nachdem der Strom ſtärker oder ſchwächer iſt, iſt in einem oder in mehreren Tagen die Kupferſchicht dick genug zum Abnehmen. Bei ſchwächeren Strömen wird der Kupferniederſchlag am gleichförmigſten; deshalb darf die Flüſſigkeit, in welcher ſich der Zinkblock befindet, nur ſchwach ſauer ſeyn.

Je mehr Kupfer ſich abgeſetzt hat, deſto heller wird die Vitriollöſung. Wenn es nöthig iſt, muß man die verbrauchte Löſung durch neue erſetzen.

Manchmal iſt es vortheilhafter, die Löſung des Kupfervitriols mit der Form in das innere Gefäß, die Säure mit dem Zinkblocke aber in das äußere zu bringen.

Man hat in neuerer Zeit ſehr wichtige Anwendungen von der Galvanoplaſtik gemacht; es iſt gelungen, auf dieſe Weiſe Holzſchnitte mit aller Schärfe des Originals zu vervielfältigen, wodurch es möglich wird, von einer und derſelben Figur beliebig viele Abdrücke zu erhalten, ohne daß die ſpäteren den früheren nachſtehen. Die Holzſchnitte dieſes Werkes ſind mit ſolchen Kupfertypen gedruckt.

Eine geſtochene Kupferplatte hält bekanntlich nicht ſehr viele Abdrücke aus, ohne bedeutend zu verlieren; die ſpäteren Abdrücke ſind immer ſchlechter als die erſten; daher der Werth der ſogenannten avant la lettre. Dadurch iſt der Stahlſtich ſo ſehr in Aufnahme gekommen, weil eine Stahlplatte ungleich mehr Abdrücke aushalten kann. Für die Kunſt iſt dies von entſchiedenem Nachtheile, weil die Härte dieſes Materials dem Künſtler ſehr große techniſche Schwierigkeiten entgegenſetzt, welche es ihm unmöglich machen, auf Stahl ein ſo vollendetes Kunſtwerk zu liefern wie auf Kupfer. Nun hat man aber gelernt, Kupferplatten, ſelbſt große Kupferplatten auf galvanoplaſtiſchem Wege zu vervielfältigen, und zwar ſo, daß die Abdrücke der Copien, deren man beliebig viele machen kann, denen der Originalplatte ganz gleich ſind.

Endlich hat Kobell in München ein Verfahren angegeben, um in Tuſchmanier gemalte Bilder durch Galvanoplaſtik zu vervielfältigen. Auf eine überſilberte Kupferplatte malt man mit einer Farbe, welche dadurch bereitet wird, daß man Oker oder Coaks mit einer Auflöſung von Wachs und Terpentinöl anreibt und etwas Dammara-Firniß zuſetzt. Mit dieſer Farbe malt man auf die Platte ſo, daß die hellſten Lichter frei bleiben und die Farbe um ſo dicker aufgetragen wird, je dunkler der Schatten ſeyn ſoll. Sobald das Bild fertig gemalt iſt, wird es mit Hülfe eines zarten Pinſels mit feingepulvertem Graphit überzogen und dann in den galvanoplaſtiſchen Apparat eingeſetzt. Allmälig ſchlägt ſich das Kupfer auf die gemalte Platte nieder und bildet eine zweite Kupferplatte, auf welcher alle Lichtparthieen der erſteren eben, die Schattenparthieen aber vertieft ſind; dieſe Platte liefert nun, wie eine geſtochene Kupferplatte

behandelt, Abdrücke, welche einer getuschten Zeichnung ähnlich sehen. Thayer in Wien hat es in dieser Manier schon zu großer Vollkommenheit gebracht, und es läßt sich erwarten, daß sie für die Kunst noch von großer Wichtigkeit werden wird.

Ebenso wie sich aus einer Auflösung von Kupfervitriol auf galvanischem Wege Kupfer am negativen Pole der Kette absetzt, ebenso setzen sich auch andere Metalle, wie Gold, Silber, Platin aus einer geeigneten Auflösung am negativen Pole ab, und man kann auf diese Weise andere Metalle vergolden, versilbern u. s. w. Näheres darüber würde uns hier zu weit führen.

Ein interessantes Beispiel von Metallfällungen bieten die Nobili'schen Farbenringe dar. Wenn man auf ein Silberplättchen einige Tropfen essigsaures Bleioxyd bringt und alsdann mit der Spitze eines Zinkstückchens in der Mitte der Flüssigkeit das Silber berührt, so bilden sich um die Berührungsstelle mehrere concentrische farbige Ringe. Noch schöner bilden sich diese Ringe, wenn man die Flüssigkeit zwischen die beiden Pole einer mehrplattigen Säule bringt und dem einen Pole die Form einer Platte, dem andern aber die einer Spitze giebt und die Spitze der Platte zukehrt, so daß der elektrische Strom durch die Flüssigkeit von der Spitze zur Platte oder umgekehrt übergeht. Auch mit anderen Flüssigkeiten hat Nobili ähnliche Farbenringe erhalten.

Chlor-, Jod- und Brommetalle werden ebenfalls durch den elektrischen Strom zersetzt, und zwar scheidet sich das Metall am negativen, Chlor, Jod und Brom am positiven Pole aus. Schon durch die allerschwächsten Ströme kann das Jodkalium zerlegt werden.

Wenn man wässrige Lösungen der Einwirkung des elektrischen Stroms unterwirft, so werden die Resultate der Zersetzung sehr häufig durch die Gegenwart des Wassers modificirt. Um die Mitwirkung des Wassers zu vermeiden, hat Faraday viele Körper durch Schmelzen in flüssigen Zustand versetzt und so der Einwirkung des Stroms unterworfen. So zerlegte er z. B. Chlorblei, Chlorsilber u. s. w., indem er sie auf eine Glasplatte legte, durch eine Weingeistlampe schmolz und alsdann die beiden Poldrähte in die flüssige Masse eintauchte. Wenn in das geschmolzene Chlorsilber Poldrähte von Silber eingetaucht werden, so wird am negativen Pole Silber ausgeschieden, welches sich am Drahte ansetzt, während der andere Silberdraht durch das frei gewordene Chlor aufgelöst wird.

Faraday hat darauf aufmerksam gemacht, daß man bei den durch die Säule bewirkten Zersetzungen directe und sekundäre unterscheiden muß.

Die Zersetzung des Wassers in seine Bestandtheile, Wasserstoff und Sauerstoff, welche an den beiden Polen auftreten, ebenso die Zersetzung der

Chlorwaſſerſtoffſäure in Chlor und Waſſerſtoff ſind direkte Zerſetzungen, denn hier treten die beiden Elemente an den entgegengeſetzten Polen auf. Unterwirft man aber Salpeterſäure der Wirkung des Volta'ſchen Stroms, ſo wird das Waſſer zerſetzt, allein der Waſſerſtoff, welcher am negativen Pole ausgeſchieden wird, zerſetzt ſogleich die Salpeterſäure, indem wieder Waſſer und ſalpetrige Säure gebildet wird. Am poſitiven Pole alſo wird Sauerſtoff frei, am negativen ſalpetrige Säure, und zwar iſt dieſe Erſcheinung nicht direct durch die zerlegende Kraft der Säule, ſondern durch die vermittelnde Wirkung des zerlegten Waſſers hervorgebracht, es iſt alſo eine *ſecundäre* Wirkung. So vereinigt ſich bei einer Ammoniaklöſung der Sauerſtoff des zerlegten Waſſers am poſitiven Pol mit dem Waſſerſtoff der Ammoniaks und Stickſtoffgas wird frei. Viele ſecundäre Wirkungen werden auf ſolche Weiſe hervorgebracht, namentlich, wenn man wäſſrige Löſungen anwendet.

Bei ſolchen Körpern, welche nur aus zwei Elementen beſtehen, hat das Verhältniß der Zuſammenſetzung einen weſentlichen Einfluß auf die Zerlegbarkeit; Chlorwaſſerſtoffſäure, Chlorblei, Chlorſilber u. ſ. w. werden durch den elektriſchen Strom leicht zerlegt, während die Perchloride der Zerſetzung widerſtehen. *Faraday* hat gezeigt, daß alle Subſtanzen, welche aus einem Aequivalent des einen Elementes und zwei oder mehreren Aequivalenten des andern Elementes beſtehen, keine *Elektrolyte* ſind; ſo nennt nämlich *Faraday* die durch den galvaniſchen Strom direkt zerlegbaren Körper. In die Klaſſe der Elektrolyte gehören unter den binären Verbindungen nur ſolche, bei welchen immer 1 Aequivalent des einen Elements mit 1 Aequivalent des andern verbunden iſt. Das iſt der Grund, warum Schwefelſäure, Salpeterſäure und Ammoniak nicht unmittelbar durch den Galvanismus zerlegbar ſind. Schwefelſäure beſteht nämlich aus 1 Aeq. Schwefel und 3 Aeq. Sauerſtoff; Salpeterſäure aus 1 Aeq. Stickſtoff und 5 Aeq. Sauerſtoff; Ammoniak aus 1 Aeq. Stickſtoff und 3 Aeq. Waſſerſtoff.

Wir haben bisher immer von Zerſetzungen geſprochen, welche durch den galvaniſchen Strom hervorgebracht werden, er iſt aber auch ſehr geeignet, chemiſche Verbindungen zu begünſtigen. Nimmt man ein leicht orydirbares Metall, etwa Zink, zum poſitiven Poldraht, ſo verbindet ſich das Metall ſehr leicht mit dem aus dem Waſſer ausgeſchiedenen Sauerſtoff. Zink löſ't ſich in verdünnter Schwefelſäure nur langſam auf, wenn es vollkommen chemiſch rein iſt; berührt man es aber mit einem Stück Silber, ſo beginnt augenblicklich eine lebhafte Gasentwickelung am Silber, während das Zink ſich mit dem Sauerſtoff zu Oxyd verbindet, welches durch die Säure aufgelöſ't wird.

Wenn man die beiden Poldrähte einer galvaniſchen Kette von Zink

machte, so würde, wenn man beide in gesäuertes Wasser eintaucht, die Zersetzung des Wassers gerade so vor sich gehen, als ob man Platin oder Kupferdrähte angewandt hätte. Am negativen Poldraht scheidet sich das Wasserstoffgas aus, und dieser Poldraht wird nun nicht von der Säure angegriffen wie es der Fall wäre, wenn er nicht durch seine Verbindung mit der Säule elektronegativ und dadurch vor dem Anfressen geschützt wäre, der positive Poldraht dagegen wird um so rascher verzehrt.

Ein Metall, welches an und für sich von einer Säure oder irgend einer andern Flüssigkeit angegriffen wird, kann dadurch, daß man es mit einem noch mehr elektropositiven Metall so in Berührung bringt, daß es den negativen Pol einer einfachen Kette bildet, vor dem Anfressen geschützt werden.

Während der Strom, welcher bei der Berührung zweier in derselben Flüssigkeit eingetauchten Metalle entsteht, die Wirkungen der Verwandtschaft eines derselben zu dem einen Elemente der Flüssigkeit vergrößert, wird das Vermögen des andern Metalls, dieselben Veränderungen zu erleiden, verhältnißmäßig verkleinert. So wird, wenn eine Zink- und Kupferplatte sich in einer verdünnten Säure berühren, das Zink schneller, das Kupfer weniger schnell oxydirt, als es außerdem der Fall seyn würde. Für dieses Princip geben die Versuche Davy's über die Erhaltung des Kupferbeschlags der Schiffe ein schönes Beispiel. Eine Kupferplatte in Seewasser eingetaucht, ist einem schnellen Anfressen unterworfen; wenn aber das Kupfer in Berührung mit Zink oder Eisen ist, so werden diese Metalle aufgelöst, das Kupfer aber dadurch geschützt. Davy hat gefunden, daß ein Stück Zink, so groß wie der Kopf eines kleinen Nagels, hinreicht, um 40 bis 50 Quadratzoll Kupfer zu schützen.

Leider hat sich gezeigt, daß diese schöne Methode, das Kupfer rein zu erhalten, praktisch nicht angewendet werden kann, weil das Kupfer bis zu einem gewissen Grade angefressen seyn muß, wenn es nicht durch Anhängen von Seegras und Schalthieren verunreinigt werden soll.

Dasselbe Princip hat v. Althaus angewandt, um das Anfressen an eisernen Pfannen, in welchen die Salzsole versotten wird, zu verhindern. Hier durfte aber das schützende Zink nicht in den Pfannen selbst angebracht werden, weil sonst das gebildete Zinkvitriol sich in der Salzlösung verbreitet hätte. Er schnitt deshalb die Ecken der Pfannen durch ein Brett ab, goß die so gebildeten Kammern, deren Boden durch die Eisenplatte gebildet wurden, mit Zink aus. So war das Zink mit dem Eisen in metallischer Berührung, und die Flüssigkeit sickerte in hinlänglicher Menge durch das Holz zum Zink durch, um die Kette zu schließen, der gebildete Zinkvitriol konnte aber die Salzlösung nicht verunreinigen.

Auf diese Weise wurde es möglich, die Verdampfung bei geringerer Tem-

peratur vorzunehmen, wodurch eine bedeutende Ersparung an Brennmamaterial erzielt wurde.

69 **Elektrochemische Theorie.** Die bisher besprochenen Erscheinungen zeigen uns merkwürdige Beziehungen zwischen den chemischen und elektrischen Kräften. Schon früher hatte man unbestimmt vermuthet, daß bei den chemischen Erscheinungen elektrische Kräfte thätig seyn möchten; man ging jedoch erst näher auf diese Vorstellung ein, als die Wasserzersetzung durch die Volta'sche Säule bekannt geworden war, namentlich waren es Davy und Berzelius, welche dieselbe ausbildeten; sie stellten die elektrochemische Theorie auf, nach welcher die Grundursache der chemischen Verbindungen in einer elektrischen Anziehung zu suchen ist. Wenn es auch noch nicht vollständig bewiesen ist, daß chemische Affinität und elektrische Anziehung völlig identisch sind, so muß doch zugeben werden, daß diese Theorie als ein gemeinsames Band viele Thatsachen auf eine Weise verknüpft, welche der Erfahrung keineswegs widerspricht.

So wie Zink und Kupfer, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, so werden, nach der elektrochemischen Theorie, die Atome je zweier Elemente entgegengesetzt elektrisch, wenn sie mit einander in Berührung kommen; kurz, alle Elemente sind nach der oben, Seite 123, angegebenen Bedeutung Glieder der Spannungsreihe. Die äußersten Glieder dieser vollständigen Spannungsreihe sind Sauerstoff und Kalium, und zwar bildet Sauerstoff das negative, Kalium das positive Ende. Folgendes ist die vollständige Spannungsreihe:

—

Sauerstoff	Antimon
Schwefel	Tantal
Selen	Titan
Tellur	Silicium
Stickstoff	Osmium
Chlor	Gold
Brom	Iridium
Jod	Rhodium
Fluor	Platin
Phosphor	Palladium
Arsenik	Quecksilber
Kohlenstoff	Silber
Chrom	Kupfer
Molybdän	Uran
Bor	Wismuth
Vanadin	Blei
Wolfram	Cerium

Lanthan	Aluminium
Yttrium	Thorium
Kobalt	Beryllium
Nickel	Magnesium
Eisen	Calcium
Cadmium	Strontium
Zink	Barium
Wasserstoff	Lithium
Mangan	Natrium
Zirconium	Kalium.

+

In dieser Reihe sind alle einfachen Stoffe enthalten, und jedem ist seine Stelle angewiesen, obgleich in dieser Beziehung noch manche Zweifel herrschen, und die Stellung der meisten Körper in der Spannungsreihe nur ungefähr, aber nicht genau bestimmt ist. Bei den wenigsten Körpern ist diese Stellung durch direkte Versuche ermittelt; für die meisten hat man sie aus ihrem chemischen Verhalten zu erschließen gesucht.

Nach der elektrochemischen Theorie sind die Atome der Elemente nicht an und für sich elektrisch, sie werden es erst in Berührung mit andern, und so kommt es denn, daß ein und derselbe Körper bald positiv, bald negativ elektrisch werden kann. So bildet z. B. Schwefel in Verbindung mit Sauerstoff das elektropositive, in Verbindung mit Wasserstoff das elektronegative Element.

Wir haben gesehen, daß zwei heterogene Metallplatten, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, daß aber der größte Theil der entwickelten Elektricitäten an der Berührungsfläche gebunden bleibt; so auch bei chemischen Verbindungen. Wenn z. B. ein Sauerstofftheilchen und ein Wasserstofftheilchen in Berührung kommen, wird das erstere —, das letztere + elektrisch, die beiden Elektricitäten ziehen sich nun an und binden sich wegen der großen Nähe fast vollständig. Wenn aber auch noch etwas freie + E auf dem einen und — E auf dem andern Theilchen ist, so kann die chemische Verbindung doch durchaus keine Zeichen freier Elektricität geben, weil die positiven und negativen Theilchen gleichförmig vertheilt sind und, wo man auch den Körper berühren mag, eben so viel positive als negative Theilchen berührt.

Zunächst verbinden sich die einfachen Stoffe, immer je zwei, zu binären Verbindungen. Die zusammengesetzten Körper, wie die Sauerstoff-, Schwefel- und Chlorverbindungen zeigen unter sich ein ähnliches Verhalten wie die einfachen Stoffe; diejenigen binären Verbindungen der einfachen Elemente, Oxyde, Sulfüre, Chlorüre u. s. w., welche sich durch negativ elektrische Eigenschaften charakterisiren und zugleich fähig sind, Verbindungen

einer höheren Ordnung einzugehen, werden Säuren genannt; diejenigen, welche in ihren weiteren Verbindungen die Rolle des elektropositiven Bestandtheils übernehmen, nennt man Salzbasen.

Der Charakter einer Säure wird sich im Allgemeinen um so stärker ausdrücken, je näher ihre Elemente dem negativen Ende der Spannungsreihe liegen; daher ist die Schwefelsäure die stärkste aller Säuren. Der Sauerstoff bildet Säuren mit den in der oben mitgetheilten Spannungsreihe zu oberst stehenden Körpern, Basen mit den am positiven Ende stehenden Elementen, und in der That ist Kali die stärkste aller Basen.

Wenn ein und derselbe Körper sich in mehreren Verhältnissen mit Sauerstoff verbindet, so wird die Verbindung um so mehr elektronegativ werden, sie wird um so weniger basische und um so mehr saure Eigenschaften annehmen, je mehr das elektronegative Element, der Sauerstoff, vorherrscht. So bildet 1 Aeq. Mangan, verbunden mit 1 Aeq. Sauerstoff, das Manganoxyd, welches basische Eigenschaften hat, während 1 Aeq. Mangan + 3 Aeq. Sauerstoff die Mangansäure bilden.

Die elektrochemische Theorie reicht in ihrem jetzigen Umfange freilich noch nicht aus, um alle chemischen Erscheinungen vollständig zu erklären, aber die auf sie gegründete Classification der Körper stimmt mit dem Verhalten derselben recht gut überein und ist sehr geeignet, von den chemischen Gesetzen eine klare Ansicht zu geben.

70 **Das elektrolytische Gesetz.** Es kann wahrscheinlich gar kein, wenigstens kein nur einigermaßen starker elektrischer Strom durch eine Flüssigkeit hindurchgehen, ohne daß dieser Durchgang von einer chemischen Zersetzung begleitet ist. In jeder Zelle eines jeden galvanischen Apparates findet eine solche Zersetzung Statt, so lange er geschlossen bleibt, und Faraday hat gezeigt, daß die Quantität des elektrischen Stromes der Zersetzung in jeder einzelnen Zelle proportional ist.

Daß zwischen der Leitung des elektrischen Stromes durch Flüssigkeiten und ihrer Zersetzung eine innige Beziehung stattfindet, ist wohl nicht zu verkennen, ja man kann geradezu behaupten, daß der Uebergang der Elektricität durch die chemische Zersetzung vermittelt wird. In jeder Zelle geht der positive Strom vom Zink aus durch die Flüssigkeit zum Kupfer, in derselben Richtung wandern aber auch die Wasserstoffpartikelchen fort; sie sind die Träger der positiven Elektricität, welche durch sie zu der Kupferplatte übergeführt wird. In der That haben wir gesehen, daß den Grundsätzen der elektrochemischen Theorie zufolge in jedem Wasseratome die Elemente gerade deshalb so fest zusammengehalten werden, weil Sauerstoff und Wasserstoff, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, und weil diese entgegengesetzten Elektricitäten der Wasserelemente sich gegenseitig binden. Indem ein Wasserstoffatom von seinem Sauerstoffe getrennt wird,

so wird auch alle seine gebundene Elektricität frei, sie wird aber, wenn der Wasserstoff sich dagegen auf der andern Seite wieder mit einem andern Sauerstofftheilchen verbindet, sogleich wieder gebunden, und so führt jedes Wasserstoffatom seine gebundene positive Elektricität fort, und an dem negativen Pole wird mit dem Wasserstoffe zugleich auch seine positive Elektricität frei.

Während gewöhnliches käufliches Zink, in verdünnte Schwefelsäure getaucht, rasch aufgelöst wird, bleibt chemisch reines Zink oder amalgamirtes Zink in derselben Flüssigkeit unangegriffen. Construirt man nun eine galvanische Kette mit chemisch reinen oder mit amalgamirten Zinkplatten, so kann begreiflicher Weise in einer solchen Kette keine Wasserzersetzung stattfinden, so lange sie nicht geschlossen ist. Wird aber die Kette geschlossen, so beginnt augenblicklich die Wasserzersetzung in jeder Zelle, es wird jedoch nur gerade so viel Wasser zersetzt und Zink aufgelöst, als zur Leitung des circulirenden Stroms nöthig ist; die Menge des aufgelösten Zinks muß also in einem ganz bestimmten Verhältnisse zu diesem Strome stehen. Faraday wandte den Strom einer solchen Kette zur Wasserzersetzung an und bestimmte genau die in einer gegebenen Zeit entwickelte Menge von Knallgas. Es fand sich nun, daß für jedes Gewichtstheil Wasserstoffgas, welches zwischen den Poldrähten oder vielmehr den Polplatten frei wurde, in jeder Zelle 32,3 Gewichtstheile Zink aufgelöst worden waren. Nun aber verhalten sich die Gewichte der chemischen Aequivalente von Wasserstoff und Zink zu einander wie 12,48 zu 403,23 oder wie 1 zu 32,3. Für jedes Aequivalent Wasserstoff also, welches in der Zerlegungszelle entwickelt wird, muß in jeder Zelle der Kette 1 Aeq. Zink aufgelöst werden.

Wenn derselbe Strom durch 4 Zerlegungszellen geleitet wird, von denen die 1ste Wasser, die 2te Chlorsilber, die 3te Chlorblei, die 4te Chlorzinn, alle aber im flüssigen Zustande, enthält, so verhalten sich die Quantitäten Wasserstoffgas, Silber, Blei und Zinn, welche an den 4 negativen Polen ausgeschieden werden, wie 1 : 108 : 103,6 : 57,9, während an den positiven Polen Sauerstoffgas und Chlor, und zwar im Verhältnisse von 8 : 35,4, ausgeschieden werden. Aehnliche Thatsachen sind für viele andere zusammengesetzte Körper dargethan worden.

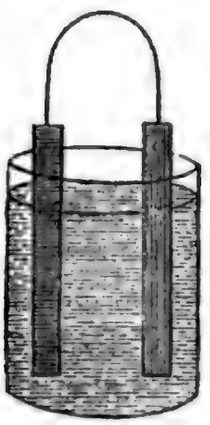
Es ergiebt sich aus diesen Thatsachen, daß die chemischen Aequivalente diejenigen relativen Gewichte der Stoffe bezeichnen, welche, in Berührung mit einem und demselben Elemente, eine gleich starke elektrische Polarität annehmen.

Theorie der constanten Ketten. Die gewöhnlichen Volta'schen 71
Ketten, in welchen nur eine Flüssigkeit angewandt wird, geben, wie schon bemerkt wurde, im ersten Augenblicke einen ungemein kräftigen Strom,

der aber sehr rasch abnimmt, während in den Becquerel'schen Ketten, dem Daniel'schen, dem Grove'schen und Bunsen'schen Apparate der Strom mit unveränderter Stärke fortdauert. Jetzt, wo wir die chemischen Erscheinungen in der Kette kennen gelernt haben, können wir uns auch davon Rechenschaft geben, warum in diesen Apparaten der Strom constant bleibt, in jenen aber so rasch abnimmt.

In ein Gefäß, Fig. 142, welches mit einer Lösung von Zinkvitriol gefüllt ist, werde eine Zink- und eine Kupferplatte eingetaucht, welche oben durch einen Kupferdraht verbunden sind. Auch hier wird anfangs ein ziemlich kräftiger Strom entstehen, der bald abnimmt und endlich ganz aufhört. Der Grund dieses Aufhörens ergiebt sich bald, wenn man den Vorgang der Zersetzung betrachtet; das Zinkoxyd der Lösung wird nämlich zersetzt, der Sauerstoff geht an die Zinkplatte, um neues Oxyd zu bilden, während auf der andern Seite sich metallisches Zink auf der Kupferplatte absetzt; nach einiger Zeit hat sich die Kupferplatte ganz mit Zink überzogen, und nun hört der Strom begreiflicher Weise ganz auf. Das Kupfer ist jetzt gar nicht mehr mit der Flüssigkeit in Berührung, Zink aber befindet sich auf beiden Seiten des Kupfers und auf beiden Seiten der Flüssigkeit; das Kupfer wird da, wo es an die Zinkplatte angelöthet ist, negativ erregt, diese Erregung aber kann keinen Strom veranlassen, weil der neu entstandene Zinküberzug einen ganz gleichen entgegengesetzten Strom erregt.

Fig. 142.



Nehmen wir nun verdünnte Schwefelsäure statt der Lösung des Zinkoxyds, so wird das Wasser der sich zwischen der Zink- und Kupferplatte befindlichen Flüssigkeit zersetzt; statt daß sich im vorigen Falle Zink an der Kupferplatte absetzte, wird nun hier Wasserstoffgas frei, die Kupferplatte überzieht sich mit einer Schicht von Wasserstoff, welcher aber mit dem Kupfer nicht in so innige Berührung kommt wie im vorigen Falle, und also auch die Flüssigkeit nicht so vollständig von der Berührung mit der Kupferplatte abhalten kann, wie es dort der Fall war. Ein gänzliches Aufhören des Stromes ist also hier nicht möglich, dennoch aber veranlaßt diese Abscheidung des Wasserstoffs, welcher nach Buff's Versuchen (Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. XLI. S. 137) in der Spannungsreihe noch unter dem Zinke steht, in ganz ähnlicher Weise eine Schwächung des Stromes, wie es dort die Ablagerung des Zinks gethan hatte.

Ist somit die Ursache richtig erkannt, welche die Schwächung des Stromes in gewöhnlichen Ketten veranlaßt, so ergiebt sich leicht, wie eine solche Schwächung vermieden werden kann; man hat nämlich nur eine Vorrich-

tung zu treffen, durch welche die Abscheidung des Wasserstoffs an den Kupfer- oder Platinplatten verhindert wird, so daß diese Platten stets in derselben Weise mit der Flüssigkeit in Berührung bleiben.

In der Becquerel'schen und Daniel'schen Kette setzt sich nicht Wasserstoff, sondern metallisches Kupfer an die Kupferplatte an, und somit bleibt stets eine reine Kupferoberfläche mit der Flüssigkeit in Berührung. In der Grove'schen Batterie aber ist das Platin, in der Bunsen'schen die Kohle von einer Schicht von Salpetersäure umgeben, diese Salpetersäure aber verhindert die Abscheidung des Wasserstoffs am Platin oder der Kohle, denn die ausgeschiedenen Wasserstofftheilchen werden im Momente ihres Entstehens auch sogleich wieder oxydirt, indem sich salpetrige Säure bildet.

Es ist wohl hier der passendste Ort, Einiges über die verschiedenen Theo- 72
rien zu sagen, welche man zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen der Säule aufgestellt hat, da diese Theorien gerade jetzt den Gegenstand lebhafter Erörterungen zwischen den verschiedenen Gelehrten bilden.

Die älteste Theorie ist die von Volta aufgestellte Contacttheorie, nach welcher die Berührung verschiedenartiger Metalle die einzige Quelle der Elektricität der Säule ist. Volta hatte vorzugsweise die Spannungswirkungen der Säule studirt, und diese finden auch durch seine Theorie die befriedigendste Erklärung. Die chemischen Erscheinungen ließ er unberücksichtigt, ohne Zweifel, weil er sie entweder gar nicht oder doch nur höchst unvollständig kannte; daher kam es auch, daß er die Rolle, welche die Flüssigkeiten in der Kette spielen, nicht gehörig würdigte, daß er sie einfach nur als Leiter und nicht zugleich auch als Elektromotoren betrachtete.

Nachdem nun die chemischen Wirkungen der Säule bekannt und genauer untersucht worden waren, konnte die Volta'sche Contacttheorie nicht mehr genügen, sie mußte also entweder berichtigt und erweitert werden, um auch die neu entdeckten Thatsachen zu umfassen, oder man mußte sie ganz verlassen und eine ganz neue Hypothese aufstellen. Beide Wege sind verfolgt worden, und zwar beide von ausgezeichneten Physikern. Als Anhänger der mehr oder minder modificirten Contacttheorie sind besonders Pfaff, Fechner, Poggendorff und Buff zu nennen.

Die Gegner der Contacttheorie betrachten die chemische Wirkung, welche die Flüssigkeit auf die Metalle ausübt, als die Quelle des elektrischen Stromes der Kette; Anhänger dieser Meinung sind besonders Fabroni, Parrot, Wollaston, Faraday und De la Rive; doch weichen die Ansichten dieser Gelehrten unter sich wieder in manchen Punkten ab.

Durch seine theoretischen Ansichten wurde Faraday auch veranlaßt, eine neue Nomenclatur einzuführen; so nannte er die Pole »Elektroden«, Wege, auf welchen der elektrische Strom in die zu zerlegende Flüssigkeit

eintritt, und zwar nannte er den poſitiven Pol Anode, den negativen Kathode. Die Beſtandtheile des Elektrolyts heißen nach Faraday »Jonen«, und zwar iſt das Kation dasjenige Element, welches an der Kathode, Anion dagegen dasjenige, welches an der Anode ausgeſchieden wird.

Es kann nicht überraſchend erſcheinen, daß eine ſolche Meinungsverſchiedenheit über die Quelle der Elektricität der Kette herrſcht, wenn man bedenkt, wie wenig uns von dem eigentlichen Weſen der Elektricität bekannt iſt. Wiſſen wir doch auch über die Entſtehung der Elektricität durch Reibung kaum etwas mehr als die einfache Thatſache! Daß in Beziehung auf den Galvanismus eine Meinungsverſchiedenheit entſtehen konnte, liegt offenbar darin, daß Volta den Einfluß des Chemismus überſehen hatte. Dieſer Mangel oder vielmehr dieſe Einſeitigkeit konnte nicht lange unbemerkt bleiben; indem aber viele Gelehrte ſich bemühten, die Wichtigkeit dieſes Einfluſſes nachzuweiſen, verfielen ſie zum Theil in das entgegengeſetzte Extrem, ſie ſchrieben dem Chemismus Alles zu, ſie berückſichtigten die wohlerwieſenen Thatſachen, welche die Baſis der Contacttheorie ausmachen, gar nicht mehr, ja einige ließen ſich ſogar verleiten, die Volta'ſchen Fundamentalverſuche in Zweifel zu ziehen oder, um ſie zu erklären, die Oxydirbarkeit der edlen Metalle zu Hülfe zu nehmen.

Die Anhänger der beiden Anſichten waren eifrigſt bemüht, Beweiſe für die Richtigkeit ihrer Meinung beizubringen, und dieſen Bemühungen verdanken wir großentheils die vielfachen Erweiterungen, welche die Lehre vom Galvanismus erfahren hat. Vor Allen gebührt Fechner das Verdienſt, daß er die Richtigkeit der Volta'ſchen Fundamentalverſuche über jeden Zweifel erhoben und die Anſichten über die Elektricitätserregung verſchiedener Metalle berichtigt hat. Faraday dagegen hat nachgewieſen, daß galvaniſche Ströme auch ohne Berührung heterogener Metalle entſtehen können, daß die chemiſche Zerſetzung der Flüſſigkeit der Säule der Quantität des elektriſchen Stromes proportional iſt, daß alſo dieſe Zerſetzung im innigſten Zuſammenhange mit der Bildung des Stromes in der hydro-elektriſchen Kette ſtehe.

Da nun aber eine Theorie des Galvanismus wo möglich alle Erſcheinungen der Kette umfaſſen muß, ſo möchte die Wahrheit wohl ſchwerlich bei den Extremen der beiden Parteien zu ſuchen ſeyn. Am beſten möchte wohl für den jetzigen Standpunkt der Wiſſenſchaft eine modificirte Contacttheorie paſſen, wie ſie oben vorgetragen wurde; denn auf dieſe Weiſe laſſen ſich die verſchiedenen Erſcheinungen der Kette am beſten unter einem gemeinſamen Geſichtspunkte zuſammenfaſſen.

Wenn man die Anſichten der ausgezeichnetſten Gelehrten über dieſe Frage recht genau mit einander vergleicht, ſo ergiebt ſich auch bald, daß

sie keineswegs so ganz und gar einander entgegengesetzt sind, als manche glauben, wie dies Buff in einem bei Gelegenheit der Naturforscherversammlung zu Mainz gehaltenen Vortrage dargethan hat. Möge es erlaubt seyn, den Schluß dieses unter dem Titel: »Der Zusammenhang der neueren Elektricitätslehre mit der Contacttheorie« gedruckten Vortrags hier wörtlich anzuführen.

»Man ist gewöhnt, die Contacttheorie und die chemisch elektrische Theorie als zwei einander entgegengesetzte Hypothesen zu betrachten, in der Weise, daß wer die eine für richtig erkläre, die andere nothwendig für falsch halten müsse. Man pflegt von den Anhängern der einen und der andern Ansicht wie von entschieden wissenschaftlichen Gegnern zu sprechen.

»Diese Vorstellung ist jedenfalls nicht in dem Wesen beider Theorien begründet.

»Die Grundlage der chemisch-elektrischen Theorie, und ich verstehe hierunter hauptsächlich die neuere, von den englischen Naturforschern ausgebildete Hypothese, bildet bekanntlich die Annahme, daß Chemismus und Elektricität nur verschiedene Aeußerungen derselben Ursache, wo nicht ganz und gar identisch seyen; daß die gegenseitigen Verwandtschaften zweier Elemente, die eine chemische Verbindung eingehen können, ein ähnlicher polarer Gegensatz seyen, wie die positive und negative Elektricität; und daß daher beide Gegensätze, wenn sie gleichgerichtet sind, einander unterstützen, oder, wenn ihre Richtungen entgegengesetzt sind, einander ganz oder theilweise aufheben können.

»Die beginnende Zersetzung einer flüssigen Verbindung ist nach dieser Hypothese eine Quelle der Elektricität. Der elektrische Strom ist aber das Fortschreiten dieser Zersetzung nach einer bestimmten Richtung.

»Jedoch schon das bloße Streben eines Metalles, eine flüssige Verbindung zu zersetzen, wodurch den Bestandtheilen derselben, bereits vor dem wirklichen Eintritte der Zersetzung, eine bestimmte Richtung ertheilt wird, veranlaßt die Entstehung eines elektrischen Stromes; freilich eines Stromes von geringer Stärke, der überdies, indem er nur die Folge ist einer veränderten Anordnung in der Lage der Partikeln, aufhören muß, so wie diese Anordnung bewerkstelligt ist. Ein dauernder Strom ist also ohne Zersetzung unmöglich.

»Dies sind die Hauptgrundzüge der chemisch-elektrischen Theorie, als deren Schöpfer man Faraday betrachten muß.

»Das Verhalten der nicht activen Volta'schen Paare und der elektrischen Säule, die Spannungswirkungen werden in dieser Theorie gar nicht, oder doch nur höchst dürftig berücksichtigt.

»Es kann gegenwärtig nicht mehr bezweifelt werden, daß die Fortdauer hydro-elektrischer Ströme geknüpft ist an die elektrisch-chemische Zersetzung

der Flüſſigkeit; dieſe Frage iſt entſchieden, ſeitdem man weiß, daß die Größe der Zerſetzung ein Maaß iſt für die Quantität fortdauernder Ströme. Die chemiſche Zerſetzung kann gleichwohl nicht der letzte Grund des Stromes ſeyn, weil ja der Zerſetzung ſelbſt eine Urſache vorhergehen muß, eine Kraft, wodurch ſie eingeleitet wird. Eine ſolche Urſache kann aber die Anziehung ſeyn, welche die Metallplatte auf den einen der Beſtandtheile der Flüſſigkeit ausübt; eine Action, wodurch, wie ſich Faraday ausdrückt, den Atomen der Flüſſigkeit Richtung verliehen und wodurch allein ſchon ein freilich nur vorübergehender Strom bewirkt wird.

»Der Gründer der neueren chemiſch-elektriſchen Theorie nennt dieſe Action eine chemiſche; aber er ſagt auch, daß chemiſche und elektriſche Anziehung gleichbedeutend oder doch ſo nahe verwandt ſind, daß ſie ſich wechſelſeitig unterſtützen und aufheben können.

»Volta ſelbſt, wäre er mit den neueren Forſchungen bekannt geweſen, würde nie den Einfluß geläugnet haben, welchen die gegenſeitige chemiſche Action des Zinks und des Sauerſtoffs des Waſſers auf Richtung und Größe des Stromes äußern. Dieſer Einfluß iſt eine wohl erwieſene Thatſache, aber eine Thatſache, die ſich ganz gut verträgt mit der eben ſo unläugbaren Erſcheinung, daß das Streben des Zinks, Zerſetzung zu bewirken, von einer elektriſchen Differenz an der Contactſtelle begleitet iſt, daß dieſe Differenz geſteigert werden kann durch die aus dem Contacte des Zinks mit Platin reſultirende und gleichgerichtete elektriſche Differenz, und daß mit dieſer vermehrten elektriſchen Anziehung zugleich auch das Streben der Metalle, die Flüſſigkeit zu zerſetzen, verſtärkt wird.

»Nach der chemiſch-elektriſchen Theorie iſt der Strom ein Zuſtand des geſtörten chemiſchen Gleichgewichtes, nach der Contacttheorie dagegen ein Zuſtand des geſtörten elektriſchen Gleichgewichtes. Und hierin liegt in der That der einzige weſentliche Unterſchied beider Theorien, der alſo nur auf eine Verſchiedenheit in der Form des Ausdrucks hinausläuft. Dieſe Verſchiedenheit iſt gleichwohl nicht unbedeutend, ſie gewährt der Contacttheorie den Vorzug, die ſtatiſchen, wie die Bewegungsphänomene der Hydrokette mit gleicher Leichtigkeit zu umfaſſen.

73 **Magnetiſche Wirkungen des galvaniſchen Stromes.** Schon lange wußte man, daß unter Umſtänden kräftige elektriſche Ladungen die Magnetnadel afficiren können; man hatte z. B. beobachtet, daß die Compaßnadeln auf Schiffen, welche vom Blitze getroffen worden waren, ihre Eigenſchaft verloren, den Weg des Fahrzeugs zu bezeichnen; mehrere Phyſiker, unter denen Franklin, Beccaria, Wilſon und Cavallo zu nennen ſind, verſuchten ſolche Erſcheinungen durch die Entladung von Leidner Flaſchen hervorzubringen, und in der That war es ihnen auch gelungen, den magnetiſchen Zuſtand ſehr kleiner Nadeln zu verändern,

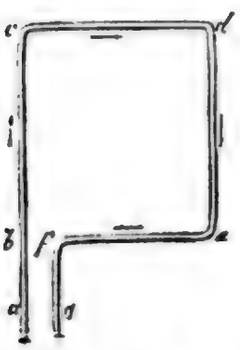
entweder indem sie den Funken in der Nähe der Nadel überschlagen, oder indem sie den Entladungsschlag durch die Nadel selbst gehen ließen. Alle diese Versuche aber gaben keine regelmäßigen Resultate, und man begnügte sich mit der Annahme, der elektrische Schlag wirke auf die Magnetnadel ungefähr so wie der Schlag eines Hammers. Später machte man neue Versuche mit der galvanischen Elektricität, welche eben so wenig zu einem Resultate führten. Im Jahre 1820 endlich fand Oersted, Professor in Kopenhagen, ein Mittel, die Elektricität sicher und beständig auf einen Magneten einwirken zu lassen. Er eröffnete dadurch den Gelehrten aller Länder ein neues weites Feld der Forschung, und nie vielleicht sah man in kurzer Zeit die Wissenschaft mit so viel neuen Wahrheiten bereichert.

Damit die Elektricität auf den Magnetismus wirke, muß sie im Zustande der Bewegung seyn. Die ruhende Elektricität im Zustande starker Spannung wirkt nicht auf den Magneten, wohl aber ein continuirlicher elektrischer Strom.

In der That, wenn man dem Schließungsdrahte einer Säule, während der elektrische Strom hindurchgeht, eine frei aufgehängte Magnetnadel nähert, so wird sie abgelenkt. Dies war der erste Versuch Oersted's, und es ist in der That zu bewundern, daß bei den vielen Versuchen, die man mit der Säule anstellte, nicht schon längst zufällig eine Beobachtung dieser Art gemacht worden war.

Den Fundamentalversuch über die Einwirkung eines galvanischen Stroms auf die Nadel kann man auf folgende Weise anstellen: ein etwas starker Kupferdraht wird so gebogen, daß er ein Quadrat bildet, dessen Seite etwa 8 bis 10 Zoll lang seyn kann; die beiden Enden des Drahtes *a b* und *f g*, Fig. 143, tauche man nun in die Quecksilbernäpfchen einer galvanischen Batterie von großer Oberfläche, etwa in die Näpfchen des Apparates Fig. 127, oder verbinde sie mit den Polen des Bunsen'schen Apparates, und befestige sie auf irgend eine Art so, daß die Ebene des Quadrats in die Ebene des magnetischen Meridians fällt. Nehmen wir an, das Drahtende *a b* sey in das positive Quecksilbernäpfchen getaucht, so circulirt der Strom in der Weise, wie es die Pfeile andeuten. Von *b* bis *c* steigt er auf, von *c* bis *d* läuft er horizontal in der Richtung von Süden nach Norden im magnetischen Meridian fort, von *d* bis *e* steigt er nieder und bewegt sich endlich wieder in horizontaler Linie von Norden nach Süden in dem Drahtstücke *e f*.

Fig. 143.



Hält man nun eine Magnetnadel gerade über das Drahtstück *c d*, so würde sie, wenn keine Einwirkung des Stroms auf die Nadel stattfände, mit dem Drahte *c d* parallel bleiben, der Strom aber lenkt die Nadel

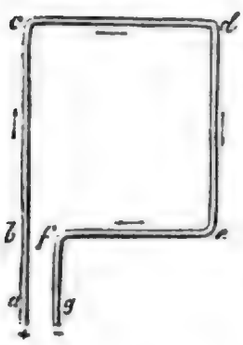
ab und zwar so, daß der Südpol (d. h. der nach Norden gerichtete) östlich vom magnetischen Meridian zu liegen kommt. Hält man aber die Nadel unter das Drahtstück *c d*, so wird das nach Norden gekehrte Ende der Nadel nach Westen abgelenkt.

Am Drahtstücke *e f*, in welchem sich der Strom in einer Richtung bewegt, welche mit der des Stroms in *c d* parallel aber entgegengesetzt ist, findet die umgekehrte Wirkung Statt; wenn die Nadel nämlich gerade über *e f* gehalten wird, findet eine westliche, wenn sie darunter gehalten wird, eine östliche Ablenkung der Nadel Statt.

In den ersten Zeiten fand man große Schwierigkeiten darin, mit wenig Worten die Beziehungen zwischen der Richtung des Stroms und der Richtung der Ablenkung auszudrücken; diese Schwierigkeiten hat Ampère auf eine recht sinnreiche Weise gelöst; er hat folgende Regel angegeben, um jederzeit die Richtung der Ablenkung zu bestimmen. Man denke sich in den Draht eine kleine menschliche Figur so eingeschaltet, daß der positive Strom bei den Füßen ein- und am Kopfe austritt; wenn nun diese Figur ihr Gesicht der Nadel zukehrt, so ist der Südpol der Nadel (das Nordende) immer nach der linken Seite hin abgelenkt.

In dem Drahtstücke *c d* liegt die Figur wagerecht, den Kopf nach Norden, die Füße nach Süden gekehrt. Wird die Nadel über den Draht gehalten, so muß die Figur auf dem Rücken liegen, wenn ihr Gesicht der Nadel zugekehrt seyn soll, bei dieser Lage der Figur ist ihre linke Seite die östliche. Wird die Nadel unter den Draht gehalten, so muß die Figur das Gesicht nach unten kehren und nun wird ihre linke Seite die westliche.

Fig. 144.



Für das Drahtstück *e f* sind die Füße der Figur nach Norden, der Kopf nach Süden gekehrt; wenn die Figur auf dem Rücken liegt, ist also die linke Seite die westliche, wenn sie auf dem Leibe liegt, die östliche.

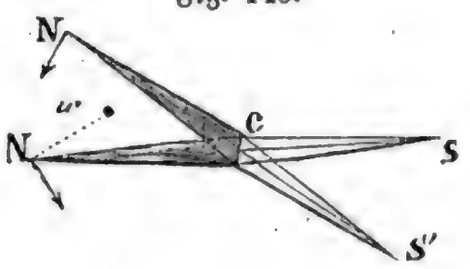
Wenn ein in der Richtung des magnetischen Meridians sich bewegender horizontaler Strom allein auf die Nadel wirkte, so würde sie sich rechtwinklig auf den magnetischen Meridian stellen; außer dem Strome wirkt aber auch noch der Erdmagnetismus, der die Nadel in den Meridian zurückzudrehen strebt. Unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte wird also die Nadel eine Zwischenlage annehmen, sie wird mit dem magnetischen Meridiane einen Winkel machen, der um so größer wird, sich also einem rechten um so mehr nähert, je größer die Stromkraft im Vergleiche zur magnetischen Erdkraft ist.

Auch der vertikal gerichtete Strom in *b c* und *d e* wirkt ablenkend

auf die Nadel, und zwar findet man die Richtung der Ablenkung ebenfalls nach der Ampère'schen Regel. Man denke sich nur die vertikal stehende Figur dem Nordende zugewendet, so muß sich dieses Nordende nach der Linken drehen. Dabei ist aber nicht zu vergessen, daß für einen aufsteigenden Strom die Figur auf den Füßen, für einen niedergehenden auf dem Kopfe steht.

Aus dieser Ampère'schen Regel folgt, daß ein und derselbe vertikale Strom das Nordende einer Nadel bald anzieht, bald abstößt, je nachdem dieser Pol sich auf der einen oder andern Seite des Drahtes befindet. In Fig. 145 stelle $N\,S$ eine horizontale Nadel, von oben gesehen, dar,

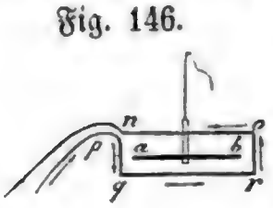
Fig. 145.



N sey das Nordende der Nadel, w sey ein vertikaler Draht, der natürlich, von oben gesehen, als Punkt verkürzt erscheint. Geht nun ein positiver Strom von unten nach oben durch den Draht, so hat man sich die Figur aufrecht zu denken; wenn aber diese aufrechte Figur nach N hinschaut und der Pol N in Beziehung auf diese Figur nach der Linken gedreht wird, also so wie es der Pfeil andeutet, so wird die Nadel offenbar von dem Drahte abgestoßen. Befände sich aber die Nadel in $N'\,S'$, so würde die Nadel offenbar von dem Drahte angezogen.

Der Multiplicator oder das Galvanometer. Kurz nachdem 74
Oersted seine wichtige Entdeckung gemacht hatte, construirte Schweigger seinen Multiplicator, welcher zum Zwecke hat, die elektromagnetische Wirkung des Stromes zu verstärken. Dieses Instrument ist wirklich so empfindlich, daß es dienen kann, um die schwächsten elektrischen Ströme zu entdecken. In der That wirken alle Theile des Stromes, welcher in der Richtung der Pfeile das längliche Rechteck $p\,q\,r\,o\,n$, Fig. 146, durchläuft, auf

Fig. 146.



dieselbe Weise auf die Nadel $a\,b$, welche in horizontaler Ebene drehbar ist. Wenn a das Südende, b das Nordende ist, so hat der Strom an allen Punkten ein Bestreben, die Nadel so zu drehen, daß b vor die Ebene der Figur hervor-, a aber zurücktritt. Das untere Drahtstück unterstützt also die Wirkung des obern, ebenso wie der Strom in den Stücken $p\,q$ und $r\,o$. Ein zweiter Strom von derselben Stärke, der sich in derselben Richtung um die Nadel bewegt, wird eine eben so große Wirkung hervorbringen, wie der erste, ebenso ein dritter, vierter u. s. w. Ein Draht also, wenn er in 100 Windungen um die Nadel herumgeht,

die alle von demselben Strom durchlaufen werden, muß eine 100fach größere Wirkung hervorbringen als eine einzige Windung; der Strom darf sich jedoch nicht seitwärts von einer Windung zur andern fortpflanzen, sondern er muß den ganzen Draht der Länge nach durchlaufen, so daß er wirklich wiederholt um die Nadel herumgeführt wird. Um dies zu erreichen, nimmt man einen Kupferdraht von 15 bis 20 Meter Länge, der mit Seide dicht übersponnen ist; dieser Draht wird dann auf einen rechtwinkligen Rahmen von Holz oder Metall aufgewunden. Die beiden Enden des Multiplicatordrahtes bleiben frei, damit man sie mit den Polen der galvanischen Kette in Verbindung bringen kann. Die Nadel wird an einem Conconfaden aufgehängt und der ganze Apparat durch eine Glasglocke vor dem Luftzug geschützt. Wenn man einen Versuch machen will, so richtet man den Rahmen so, daß die Ebene der Windungen mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, die Nadel befindet sich dann ebenfalls in der Ebene der Windungen, so lange kein Strom hindurchgeht; sobald dies aber der Fall ist, wird die Nadel um so mehr abgelenkt, je stärker der Strom ist.

Dieser Multiplicator ist schon sehr empfindlich, Nobili aber hat ihn noch ungleich empfindlicher gemacht, indem er statt einer Nadel ein System vom zweien anwandte, deren Pole entgegengesetzt gerichtet sind, wie man dies Fig 147 und deutlicher Fig. 148 sieht.

Fig. 147.

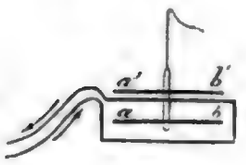
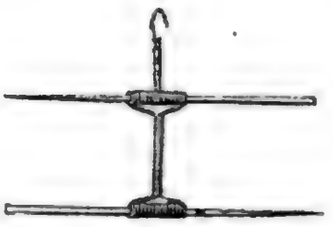


Fig. 148.



Bei einem solchen System von zwei Nadeln ist die richtende Kraft des Erdmagnetismus außerordentlich gering, denn sie ist nur die Differenz der Kräfte, mit welcher der Erdmagnetismus jede einzelne Nadel zu richten strebt. Wären beide Nadeln absolut gleich und vollkommen gleich stark magnetisirt, so würde die richtende Kraft, welche die Erde auf das System ausübt, gleich Null seyn. Die eine der Nadeln hängt nun innerhalb, die andere über den Windungen, beide werden also durch den Strom nach derselben Seite gedreht. Ein solcher Apparat ist ungemein empfindlich.

Um die Nadeln auf eine feste Weise zu verbinden, steckt man entweder beide durch einen recht geraden Strohhalm oder man befestigt sie an einem ganz dünnen Draht, wie Fig. 148 zeigt.

Die obere Nadel bewegt sich über einem in 360 Grad getheilten Kreise. Die Linie, welche 0 und 180° verbindet, wird in den magnetischen Meridian eingestellt; wenn nun kein Strom durch die Windungen hindurchgeht, so zeigt

die Nadel auf 0°. Mit wachsender Stromstärke wird die Ablenkung der Nadel bedeutender, jedoch ist die Stromstärke nicht dem Ablenkungswinkel proportional.

Fig. 149.

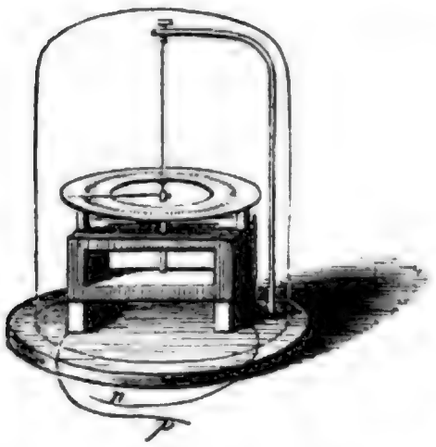


Fig. 150.

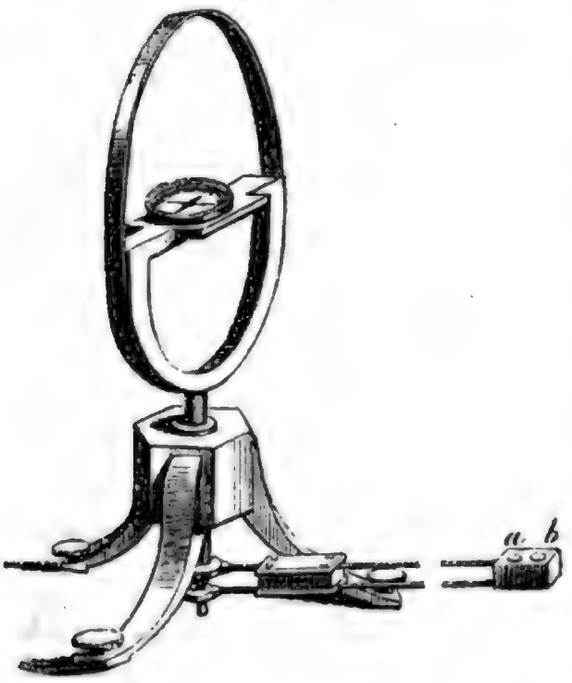
Die Richtung der Abweichung der Nadel bestimmt die Richtung des Stromes.

Fig. 149 zeigt ein vollständiges Galvanometer und Fig. 150 zeigt den Rahmen mit den Drahtwindungen von oben gesehen.

Der Ausschlagswinkel wird bei diesen Instrumenten natürlich um so größer, je stärker der Strom ist, doch ist das Verhältniß zwischen dem Ausschlagswinkel und der Stromstärke ein sehr complicirtes, welches nicht aus theoretischen Betrachtungen, sondern nur durch Versuche ermittelt werden kann. Namentlich hat Poggendorff ein sehr sinnreiches Verfahren angegeben, um das Galvanometer zu genaueren Messungen anwendbar zu machen, doch können wir hier nicht weiter in's Detail eingehen.

Die Tangenten- und die Sinusbouſſole. Wenn man es mit stärkeren 75
Strömen zu thun hat, so ist es nicht nöthig, eine astatische Nadel anzuwenden und so viele Drahtwindungen so nahe um die Nadel herumzuführen; dadurch aber ist es möglich, Instrumente zu construiren, bei welchen der Ablenkungswinkel in einem einfachen Verhältniß zu der Stromstärke steht. Fig. 151 stellt einen Apparat dar, in welchem der Strom durch einen kreisförmigen Kupferstreifen um die Nadel herumgeleitet wird, welche sich in der Mitte dieses Kreises befindet und sehr klein gegen seinen Durchmesser ist. Ohne vor der Hand die Einrichtung des Apparates näher zu betrachten, wollen wir untersuchen, welche Beziehung zwischen der Stromstärke und dem Ablen-

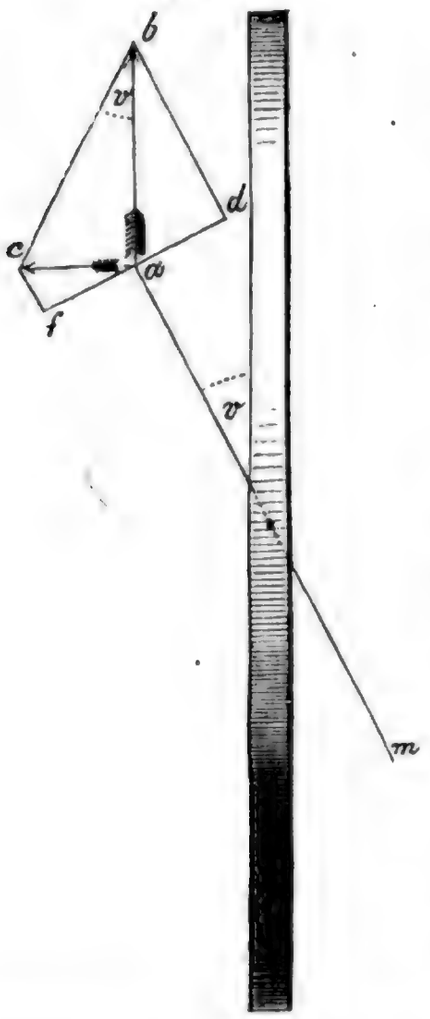
Fig. 151.



kungswinkel besteht, wenn die Ebene des Kupferrings mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt.

In Fig. 152 stelle der schattirte Streifen den Ring von oben gesehen, $a\,b$ die durch den Strom abgelenkte Nadel dar, welche hier freilich etwas zu groß gezeichnet ist, um die Figur nicht undeutlich zu machen. Wenn die Nadel klein ist gegen den Durchmesser des Kreises, so ist die Spitze der abgelenkten Nadel nicht merklich weiter vom Kupferring entfernt, als wenn sie gar nicht abgelenkt wäre, man kann also diese Zunahme der Entfernung ganz unberücksichtigt lassen.

Fig. 152.



Es greifen nun aber an der Spitze der Nadel zwei Kräfte an, die magnetische Erdkraft $a\,b$, in der Richtung des Meridians wirkend, strebt die Nadel in die Ebene des Ringes zurückzuführen, der Strom aber hat ein Bestreben, die Nadel rechtwinklig auf den magnetischen Meridian zu stellen, er wirkt in der Richtung $a\,c$ auf die Spitze der Nadel. Die rechtwinklig auf die Richtung der Nadel wirkenden Seitenkräfte von $a\,b$ und $a\,c$ sind nun $a\,d$ und $a\,f$, die Nadel wird in Ruhe seyn, wenn $a\,d = a\,f$.

Nehmen wir an, die Nadel habe sich in dieser Gleichgewichtslage eingestellt, so besteht nun zwischen der magnetischen Erdkraft $a\,b$, die wir mit R, und der Stromkraft $a\,c$, die wir mit S bezeichnen wollen, ein einfaches Verhältniß, welches sich aus der Betrachtung des Dreiecks $a\,b\,c$ ergiebt, es ist nämlich

$$S = R.\ tang.\ v,$$

wenn man mit v den Winkel $a\,b\,c$ bezeichnet. Dieser Winkel ist aber dem Ablenkungswinkel der Nadel gleich, bei einem solchen Instrumente ist also die Stromkraft der Tangente des Ablenkungwinkels proportional, daher der Namen Tangentenbousſole.

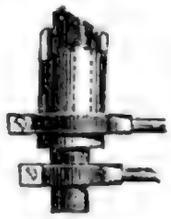
Man hat Tangentenbousſolen von mancherlei Formen construirt; Fig. 151 stellt eine solche nach W. Weber's Angaben ausgeführte dar. Der Strom circulirt in einem breiten kreisförmigen Kupfer- oder Messingstreifen, in dessen Mitte sich die Nadel befindet. Das Instrument wird so aufgestellt, daß die Ebene

dieses Ringes in dem magnetischen Meridian liegt. Die Zuleitung des Stroms geschieht durch einen kupfernen Stab, die Ableitung durch eine Röhre, welche jenen Stab umgiebt, ohne jedoch mit ihm in leitender Verbindung zu stehen, wie man Fig. 153 bis Fig. 155 deutlicher sieht. *a* und *b*, Fig. 151, sind Queckſilbernäpfchen, in welche die Polardrähte der Kette eingetaucht werden.

Fig. 153.

Fig. 154.

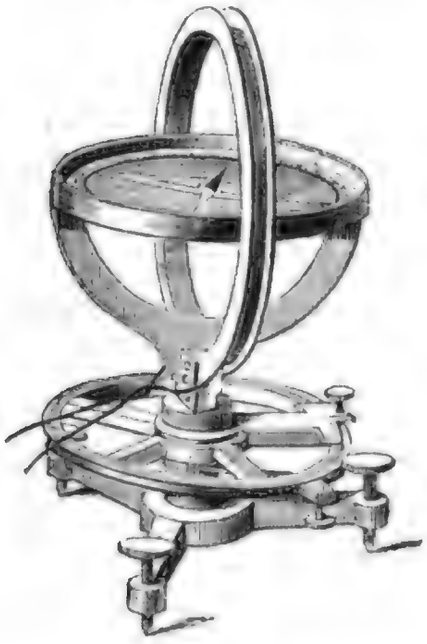
Fig. 155.



Die Länge der Nadel darf höchstens $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{5}$ des Ringdurchmeſſers betragen; je kleiner ſie im Vergleich zu dieſem iſt, deſto genauer iſt die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Je kleiner aber die Nadel wird, deſto kleiner wird auch die Theilung, auf welcher man die Ablenkung ablieſ't, wenn der Radius des getheilten Kreiſes der halben Länge der Nadel gleich iſt. Um aber, wenn große Genauigkeit gefordert wird, eine kleine Nadel mit einem großen Theilkreiſe zu verbinden, befeſtigt man die kleine Magnetnadel auf einer langen, ſehr leichten Kupfernadel, deren Enden ſich an der Theilung herbewegen.

Die Fig. 156 ſtellt eine Sinusbouſſole dar. Die Magnetnadel befindet ſich in der Mitte eines horizontalen getheilten Kreiſes, der um eine vertikale Axe drehbar iſt. Um dieſen Kreis iſt der Multiplicatordraht gewunden. Das Inſtrument wird ſo aufgeſtellt, daß die Ebene der Drahtwindungen in den magnetiſchen Meridian fällt, und in dieſem Falle ſteht der Index des horizontalen Kreiſes, auf welchem die Drehung des vertikalen Kreiſes abgeleſen wird, auf Null. Wenn nun ein Strom durch die Windungen geht, wird die Nadel abgelenkt, der vertikale Kreis mit den Windungen wird aber nun auch in der Richtung dieſer Ablenkung ſo weit gedreht, bis die Nadel wieder in der Ebene der Windungen liegt, und dann die Größe der Ablenkung an dem untern horizontalen Kreiſe abgeleſen.

Fig. 156.



Geſetzt, man habe mit dem Strom einer hydro-elektriſchen Kette eine Ab-

lenkung von 30° erhalten, mit einer andern nur 20°, so ist es leicht das Verhältniß der Stärke beider Ströme zu berechnen; denn da in beiden Fällen der Strom ganz gleiche Lage gegen die Nadel hat, so verhalten sich die Stromstärken offenbar wie die Kräfte, die in beiden Fällen die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen streben. Diese Kraft ist aber im ersten Falle *R. sin.* 30°, im zweiten *R. sin.* 20°, die Stromstärken verhalten sich also wie die Sinus der Ablenkungswinkel, daher auch der Namen Sinusbouſſole.

Es ist klar, daß die Stärke des Magnetismus der Nadel keinen Einfluß auf die Größe der Ablenkung hat, denn wenn die Nadel stärker magnetisch wäre, so würde die Einwirkung des Stroms und die des Erdmagnetismus auf die Nadel in gleichem Verhältniß zunehmen.

Für den Fig. 156 abgebildeten Apparat beträgt der Durchmesser des vertikalen Kreises 22 Centimeter. Man kann, je nachdem es die Umstände erfordern, eine oder mehrere Windungen des Drahtes um den vertikalen Kreis herum legen.

Poggendorff hat die Sinusbouſſole wesentlich verbessert, namentlich dadurch, daß er die Nadel an einem Coconfaden aufgehängt hat.

Auch an Multiplicatoren von der in Fig. 149 dargestellten Art hat man die Einrichtung angebracht, daß man die Drahtwindungen um eine vertikale Axe umdrehen kann, so daß es möglich ist, sie stets mit der Nadel parallel zu stellen.

Nachdem wir die Mittel kennen gelernt haben, die Stromstärke zu messen, wollen wir die Gesetze derselben näher betrachten.

76 **Kraft der galvanischen Kette.** Das Agens, welches in den Phänomenen des Galvanismus wirkt, ist durchaus nichts anders als die Elektricität, welche uns auch die Elektrisirmaschine und das Elektrophor liefert; nur ist hier die Elektricität in Bewegung, dort in Ruhe; hier beobachten wir Bewegungserscheinungen, dort die Phänomene des Drucks; hier haben wir eine reiche, dort eine verhältnißmäßig arme Quelle von Elektricität.

Ein Bild kann vielleicht das wahre Sachverhältniß recht klar machen. Wir können die Elektrisirmaschine einer Quelle vergleichen, welche nur spärlich Wasser giebt, aber hoch auf einem Berge liegt. Man kann das Wasser in einer engen Röhrenleitung sammeln, welche bis in das Thal hinabgeht und unten verschlossen ist. Die Wände dieser Röhrenleitung haben natürlich einen starken Druck auszuhalten, namentlich am untern Ende, obgleich die Wassermasse in der Röhrenleitung so groß nicht ist. Am untern Ende der Röhrenleitung befinde sich nun eine Oeffnung, die durch ein Ventil verschlossen ist, welches durch eine Feder oder durch ein Gewicht auf die Oeffnung gepreßt ist, wodurch sie verschlossen gehalten wird. Je mehr aber die Wassersäule in der Röhre steigt, desto stärker wird der Druck;

endlich reicht der äußere Gegendruck nicht mehr hin, Widerstand zu leisten, das Ventil wird geöffnet und mit Gewalt strömt das Wasser hervor; dabei aber sinkt rasch das Niveau in der Röhre; der äußere Druck gewinnt wieder das Uebergewicht und schließt die Oeffnung. Allmählig füllt sich die Röhre wieder und nach einiger Zeit ist das Wasser wieder so hoch gestiegen, daß es von Neuem das Ventil öffnet.

Bei der Elektrisirmaschine ist der Conductor das Gefäß, die Röhrenleitung, in welcher die Elektricität angehäuft wird. Nähert man dem einen Ende des Conductors einen Leiter, etwa den Knöchel eines Fingers, so wird hier die größte Anhäufung von Elektricität stattfinden; sie hat ein Bestreben, auf den Finger überzuspringen, allein die Luftschicht, welche sich zwischen dem Conductor und der Hand befindet, hindert diesen Uebergang, sie repräsentirt das Gewicht, welches das Ventil geschlossen hält. Erst wenn auf dem Conductor die Elektricität bis zu einem gewissen Grad angehäuft ist, wird der Widerstand überwunden, die Luftschicht durchbrochen, der Conductor wird theilweise entladen. Nähert man den Finger dem Conductor noch mehr, so wird der Widerstand, welcher sich dem Uebergang der Elektricität entgegensetzt, geringer, was einer Verringerung des Drucks entspricht, welcher das Ventil der Röhrenleitung geschlossen hält.

Hätte man die Oeffnung am untern Ende der Röhrenleitung nicht durch das Ventil geschlossen, so würde das Wasser in dem Maaße ausgeflossen seyn, als es durch die Quelle geliefert wird, eine Anhäufung des Wassers und mit ihr jener Druck, den die Wände auszuhalten hatten, hört auf. Weil aber die Quelle nur wenig Wasser giebt, so wird es auch nur spärlich aus jener Oeffnung herausfließen; das Wasser, welches, in der Röhre angehäuft, so ungeheuern Druck ausüben könnte, wird nun, da es frei abfließen kann, kaum einen merklichen mechanischen Effect hervorbringen können.

Diesem freien Abfließen des Wassers einer armen Quelle entspricht der Fall, daß man den Conductor der Maschine mit dem Boden oder dem Reibzeug in leitende Verbindung setzt. Alle Spannung, alle Anhäufung der Elektricität auf den Conductor hört auf; der dünnste Draht ist schon im Stande, alle Elektricität vom Conductor vollständig abzuleiten, und diese frei abströmende Elektricität kann kaum Spuren der mächtigen Wirkungen hervorbringen, welche wir an galvanischen Apparaten beobachten.

Die galvanischen Apparate gleichen einer sehr reichen Quelle, die aber nur ein geringes Gefälle hat und deren Wasser in weiten Röhren frei abfließt. Die große Masse des strömenden Wassers übt nur einen geringen Druck auf die Röhrenwände aus, aber sie ist im Stande, mechanische Effecte hervorzubringen, Räder zu treiben u. s. w.

Wenn man eine große Leidner Flasche durch einen dünnen Draht entladet, so wird dieser, wie wir gesehen haben, glühend, weil eine ziemlich große Elektricitätsmenge auf einmal durch ihn hindurchgeht. Die Wirkung ist aber nur momentan; in einem Augenblick geht alle Elektricität, welche man durch längeres Drehen der Maschine in der Flasche angehäuft hatte, durch den dünnen Draht hindurch. Ganz anders verhält es sich, wenn man die beiden Pole eines großplattigen galvanischen Apparats durch einen dünnen kurzen Draht verbindet. Der Draht wird glühend, selbst, wenn er bei weitem dicker ist, als der Draht, den man durch den Entladungsschlag der Leidner Flasche in's Glühen bringt; das Glühen ist aber hier nicht momentan, es dauert fort, so lange der Strom durch den Draht hindurchgeht; in jedem Augenblick liefert also der galvanische Apparat ungleich mehr Elektricität als man durch längeres Drehen der Maschine in der Flasche anhäufen konnte.

Untersuchen wir nun, von welchen Umständen die Quantität der Elektricität abhängt, welche ein galvanischer Apparat zu liefern im Stande ist.

Wenn zwei Metalle sich nur in wenigen Punkten berühren, so hat man schon eine reiche Quelle von Elektricität. Wir haben aber gesehen, daß man keinen galvanischen Apparat ohne solche Körper bilden kann, die nicht in die Spannungsreihe gehören. Die galvanischen Ketten sind aus Metallen und Flüssigkeiten construirt. Flüssigkeiten aber sind keine guten Leiter der Elektricität, sie stehen in dieser Hinsicht bei weitem den Metallen nach. Die feuchten Schichten, welche sich zwischen den Metallplatten der Volta'schen Säule befinden, sind nicht im Stande, alle die Elektricität in einer gegebenen Zeit durchzulassen, welche in derselben Zeit durch die elektromotorische Kraft in der Säule möglicher Weise entwickelt werden könnte. Begreiflicher Weise hängt also die Quantität der Elektricität, welche in einem solchen Apparate circuliren kann, von dem Querschnitt der feuchten Schichten ab; der Querschnitt der feuchten Leiter hängt aber in der Volta'schen Säule von der Größe der Plattenpaare ab, man kann also die Quantität der Elektricität durch Vergrößerung der Platten vermehren. Für die Richtigkeit dieses Schlusses werden wir später experimentelle Beweise kennen lernen.

Mit der Vergrößerung der Platten der Volta'schen Säule wächst aber auch die Berührungsfläche zwischen Kupfer und Zink; daß dies jedoch nicht die Ursache der vermehrten Quantität des elektrischen Stromes ist, geht daraus hervor, daß die Fig. 127 und Fig. 129 abgebildeten Apparate, bei welchen der Querschnitt der flüssigen Schicht zwischen Kupfer und Zink sehr groß ist, auch eine bedeutende Quantität von Elektricität liefern, obgleich die beiden Metalle sich nur mit einer verhältnißmäßig kleinen Fläche berühren, nämlich da, wo der Kupferdraht an den Zinkcylinder oder die Zinktafel angelöthet ist.

Alles also, was den Durchgang der Elektricität durch den flüssigen Leiter befördert, hat unmittelbar eine Vermehrung der elektrischen Quantität zur Folge. Je kürzer der Weg ist, welchen die *E* durch die Flüssigkeit zurückzulegen hat, je dünner also die flüssige Schicht zwischen den Metallplatten ist, desto mehr *E* kann im Apparat circuliren. Je mehr also die Flüssigkeit leitend ist, je näher sich die Metallplatten in der Flüssigkeit stehen, desto größer ist die elektrische Quantität des Stromes.

Untersuchen wir nun, welchen Einfluß die Zahl der Plattenpaare auf den galvanischen Strom hat. Denken wir uns eine Zinkplatte, auf diese eine feuchte Scheibe und auf diese wieder eine Kupferplatte gelegt, die beiden Metallplatten durch einen Kupferdraht verbunden, so haben wir eine geschlossene einfache galvanische Kette. Der Widerstand, welchen der Strom im feuchten Leiter zu überwinden hat, ist ungleich größer als der Widerstand, welchen der Draht der Circulation des Stromes entgegensetzt; der Apparat kann weit mehr *E* liefern, als der feuchte Leiter durchläßt. Verdoppeln wir nun die Zahl der Elemente, die oberste Kupferplatte werde wie vorher durch einen Kupferdraht mit der untersten Zinkplatte verbunden, so haben wir nun eine Kette von zwei Elementen. Es ist nun die Frage, ob in dieser Vorrichtung eine größere Quantität von Elektricität circuliren kann als in der oben betrachteten einfachen Kette?

In der einfachen Kette war die Quantität der circulirenden *E* durch den Widerstand des feuchten Leiters begränzt; dieser Widerstand ist nun durch die zweite feuchte Scheibe verdoppelt, dagegen ist aber auch die Spannung, welche den elektrischen Strom durchtreibt, noch einmal so groß geworden, es wird also in beiden Fällen gleichviel Elektricität circuliren. Die Vermehrung der Plattenpaare trägt bei vollkommener Schließung der Kette nichts zur Vermehrung der Quantität der circulirenden Elektricität bei; bei vollkommener Schließung ist es also ganz gleichgültig, ob man ein oder viele Plattenpaare anwendet. Bei unvollkommener Schließung aber, d. h. wenn ein schlechter Leiter in den Schließungsbogen eingeschaltet wird, muß man vielplattige Ketten anwenden, weil eine größere elektrische Tension nöthig ist, um den Durchgang durch den schlechten Leiter gleichsam zu erzwingen. Die Intensität des galvanischen Stromes ist der Anzahl der Plattenpaare proportional.

Das Ohmische Gesetz. Die eben angedeuteten Beziehungen der Stromstärke zu den Elementen der Kette sind durch Ohm auf streng mathematische Formen zurückgeführt worden. Durch das nach seinem Urheber genannte Ohmische Gesetz, dessen Grundzüge sogleich näher entwickelt werden sollen, ist erst den Untersuchungen über die Stromstärke eine sichere Basis gegeben worden. 77

Damit ein elektrischer Strom durch einen Leiter hindurchgehen könne,

ist es durchaus nöthig, daß die Elektricität an verschiedenen Stellen des Leiters eine ungleiche Spannung habe. Berührt man z. B. den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einem Drahte, so strömt die Elektricität nur deshalb durch denselben ab, weil die starke Spannung der Elektricität auf den Conductor dieselbe durch den Draht hindurchtreibt, weil also an dem einen Ende des Drahtes, da nämlich, wo er den Conductor berührt, eine stärkere Anhäufung von Elektricität stattfindet, als am anderen; verbände man zwei gleiche, gleich stark mit derselben Elektricität geladene Conductoren durch einen Draht, so könnte kein Strom entstehen.

Wenn die Volta'sche Säule isolirt ist, so befinden sich die entgegengesetzten Elektricitäten an den Polen in dem Zustand der Spannung, und dieser Zustand kann unmöglich ganz verschwinden, wenn die beiden Pole durch einen Leiter verbunden werden, denn es kann keine positive Elektricität von dem positiven Pole abströmen, wenn hier nicht eine größere Anhäufung dieser Elektricität stattfände; es ist eine gewisse Spannung der Elektricität, gleichsam ein gewisser Druck nöthig, damit eine Bewegung entstehe, damit die Leitungswiderstände in dem Leiter überwunden werden, durch welchen der Strom hindurchgehen soll.

Die Quantität der Elektricität, welche einen Leiter durchströmt, hängt also wesentlich von zwei Umständen ab, erstens von dem zu überwindenden Leitungswiderstand und zweitens von der Spannung, dem Druck, welcher die Elektricität durch den Leiter hindurchtreibt; es ist nun leicht einzusehen, daß die Quantität der Elektricität, welche durch einen gegebenen Leiter in einer gegebenen Zeit hindurchgeht, im umgekehrten Verhältniß des Leitungswiderstandes und im geraden Verhältniß der elektrischen Spannung stehen muß, welche den Strom durch den Leiter hindurchtreibt. Die Spannung ist hier gewissermaßen die beschleunigende Kraft.

Die Quantität der Elektricität, welche einen Leiter durchströmt, die Stromstärke läßt sich also ausdrücken durch

$$\frac{E}{L}$$

wenn E die elektrische Spannung, welche den Strom erzeugt, und L den zu überwindenden Leitungswiderstand bezeichnet.

Betrachten wir den Strom eines einfachen geschlossenen Volta'schen Elements. Die Spannung, welche den Strom veranlaßt, sey e, der Leitungswiderstand in der Kette selbst sey λ, im Schließungsdraht aber l, so ist also die Stromstärke

$$p = \frac{e}{\lambda + l}.$$

Hätte man n solcher Elemente zu einer Säule vereinigt, so würde die elektrische Spannung, welche den Strom in Bewegung setzt, ne seyn, der

Widerstand in der Kette aber ist in demselben Verhältniß gewachsen, denn jetzt ist nicht der Widerstand in einem, sondern in n Elementen zu überwinden, der Leitungswiderstand ist also jetzt $n\lambda$. Wenn nun der Schließungsbogen derselbe ist wie bei der einfachen Kette, so hat man für die Stromstärke

$$p^1 = \frac{n\,e}{n\lambda + l}.$$

Wäre l sehr klein im Vergleich λ, so würde der obige Werth von p sehr nahe $\frac{e}{\lambda}$, der Werth von p^1 aber $\frac{n\,e}{n\lambda}$, also auch $= \frac{e}{\lambda}$ seyn; wenn also der Widerstand im Schließungsbogen klein ist im Vergleich zu dem Leitungswiderstand eines einzelnen Elementes, so gewährt die Vermehrung der Elemente gar keinen Vortheil. Dahingegen hat eine Vermehrung der Elemente eine Vermehrung der Stromstärke zur Folge, wenn l sehr groß ist, d. h. wenn im Schließungsbogen ein bedeutender Widerstand zu überwinden ist.

Betrachten wir nun den Einfluß, welchen die Vergrößerung der Oberfläche einer einfachen Kette hat. Die Stromstärke für ein einziges Element wurde oben mit $p = \frac{e}{\lambda + l}$ bezeichnet; wenn nun die Oberfläche des Volta'schen Elements $n$mal so groß würde, ohne daß sonst etwas geändert wird, so hätte dies doch nur zur Folge, den Leitungswiderstand in der Kette selbst $n$mal kleiner zu machen, weil ja der Querschnitt der Flüssigkeit, durch welche der Strom hindurchgehen muß, $n$mal größer geworden ist; statt des Widerstandes λ hätte man also jetzt $\frac{\lambda}{n}$, die Stromstärke p'' wird also seyn

$$p'' = \frac{e}{\frac{\lambda}{n} + l}$$

oder was dasselbe ist

$$p'' = \frac{n\,e}{\lambda + n\,l}$$

Wäre l, d. h. der Leitungswiderstand im Schließungsbogen gleich Null, so wäre die Stromstärke der Oberfläche des elektrometrischen Elementes proportional; dies ist auch noch sehr nahe der Fall, wenn l nur sehr klein ist; eine Vergrößerung der Oberfläche bringt also dann eine Vermehrung der Stromstärke hervor, wenn der Leitungswiderstand im Schließungsbogen klein ist gegen den Widerstand in der Kette.

Die Werthe für die Leitungswiderstände in der Kette selbst und im Schließungsbogen müssen natürlich auf eine und dieselbe Einheit bezogen werden, wie wir dies sogleich sehen werden.

Das Ohmische Gesetz war schon im Jahre 1827 publicirt worden

(die galvanische Kette, mathematisch behandelt von Dr. G. S. Ohm, Berlin, 1827); es fand jedoch erst weit später die allgemeine Würdigung, die es verdient; im Auslande, namentlich in Frankreich wurde es erst vor wenigen Jahren bekannt, und so ist es erklärlich, daß Pouillet, ohne mit Ohms Untersuchungen bekannt zu seyn, die Grundsätze desselben auf experimentalem Wege nachwies, während Ohm seine Resultate aus theoretischen Betrachtungen abgeleitet hatte. Es unterliegt demnach keinem Zweifel, daß Pouillet ebenfalls die Ehre der Entdeckung gebührt, namentlich wenn man bedenkt, wie sehr verschieden die Wege waren, auf welchen beide Gelehrte zu derselben Wahrheit gelangten.

Pouillet's Versuche mögen uns nun hier als experimentale Belege für die Richtigkeit des Ohmischen Gesetzes dienen.

78 **Gesetze der Stromstärke eines einzigen hydroelektrischen Elementes.** Nehmen wir zu Versuchen über diesen Gegenstand ein Becquerel'sches Element, Fig. 130, weil ein solches einen starken constanten Strom giebt. Man kann dazu eben so gut auch ein Element irgend einer andern constanten Batterie nehmen.

Um zu bestimmen, nach welchem Gesetze die Stromstärke abnimmt, wenn der Schließungsbogen verlängert wird, läßt man zuerst den Strom unmittelbar durch die Tangentenbousole gehen, dann aber schaltet man der Reihe nach gleich dicke Drahtstücke von 5, 10, 40, 70 und 100 Meter Länge ein. Um die längeren Drähte bequem anwenden zu können, müssen sie mit Seide übersponnen und zusammengewunden seyn.

Eine Versuchsreihe der Art gab folgende Resultate:

Länge des eingeschalteten Kupferdrahtes.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.
0 Meter	62° 00′	1,880
5	40 20	0 849
10	28 30	0,543
40	9 45	0,172
70	6 00	0,105
100	4 15	0,074

Man sieht hier gar keine Regelmäßigkeit in der Abnahme, welche die Stromstärke erleidet, wenn der eingeschaltete Draht länger wird; wenn man aber bedenkt, daß dieser Draht nicht das einzige Hinderniß für den Strom

ist, daß in dem elektromotorischen Apparate selbst und in den verschiedenen Theilen der Boussole, welche der Strom durchläuft, ein Leitungswiderstand überwunden werden muß, was wir als Widerstand des Elementes bezeichnen wollen, so ist klar, daß man den Widerstand des Elementes gleichsetzen kann dem Widerstand eines Kupferdrahtes von derselben Dicke wie der eingeschaltete und von der noch unbekannten Länge x, eigentlich also sind folgende die zusammengehörigen Längen der Kette und Ablenkungswinkel:

Länge der Kette.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.
x	62° 00′	1,880
x + 5	40 20	0,849
x + 10	28 30	0,543
x + 40	9 45	0,172
x + 70	6 00	0,105
x + 100	4 15	0,074

Wenn sich nun die Stärke der hydroelektrischen Ströme wirklich umgekehrt verhält wie die Länge der Kette, so müssen sich die Zahlen der ersten Columne umgekehrt verhalten wie die Zahlen der letzten, es muß also seyn

$$x : x + 5 = 0{,}849 ; 1{,}880$$

woraus sich ergiebt $x = 4{,}11$. Vergleicht man auf dieselbe Weise die erste Beobachtung mit allen folgenden, so muß man immer gleichen Werth für x erhalten, und in der That sind die auf diese Weise berechneten Werthe von x sehr nahe einander gleich; man findet nämlich außer dem schon berechneten 4,06, 4,03, 4,14 und 4,09 Meter. Das Mittel daraus ist 4,08.

Der Widerstand des Elementes ist also gleich dem Widerstand eines 4,08 Meter langen Kupferdrahtes von derselben Dicke wie der eingeschaltete. Legt man diese Länge zu Grunde, so kann man nach dem allgemeinen Gesetze, daß sich die Stärke des Stromes umgekehrt verhält wie die Länge der Kette, leicht die Ablenkungen berechnen, welche man hätte erhalten müssen, und diese mit den direct beobachteten vergleichen, wie dies in der folgenden Tabelle geschehen ist:

Länge der Kette.	Berechnete Ablenkung.	Beobachtete Ablenkung.	Differenz.
4,08 Meter	62° 00′	62° 00′	
9,08	40 18	40 20	+ 2′
14,08	28 41	28 30	— 11
44,08	9 56	9 45	— 11
74,08	5 57	6 00	+ 3
104,08	4 14	4 15	+ 1

Eine solche Uebereinstimmung zwischen den Resultaten der Beobachtung und denen, die man aus dem allgemeinen Gesetz abgeleitet hat, läßt keinen Zweifel mehr über die Richtigkeit dieses Gesetzes für hydroelektrische Ströme.

Ist der Leitungswiderstand des Elementes einmal auf einen Draht von gegebenem Querschnitt reducirt, so ist es leicht, die Zahl zu finden, welche diesen Leitungswiderstand ausdrückt, wenn man zu den Versuchen irgend einen andern Draht anwendet. Der Widerstand des Elementes ist z. B. gleich dem eines 4,08 Meter langen Drahtes, wie er zu den obigen Versuchen war angewendet worden, er ist aber auch gleich dem Widerstand eines 40,8 Meter langen Drahtes von 10mal größerm Querschnitt u. s. w.

Ebenso wie man nach dieser Methode den Einfluß der Länge der Kette bestimmt, kann man auch den Einfluß der verschiedenen Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle untersuchen.

79 **Gesetze der Stromstärke zusammengesetzter Ketten.** Sechs Becquerel'sche Elemente von der auf Seite 141 dargestellten Einrichtung werden zu einer Kette verbunden. Zuvor aber war der Leitungswiderstand jedes einzelnen Elementes bestimmt worden; die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Untersuchung.

Nummer der Elemente	Drahtlängen, welche zu jedem Element hinzugefügt worden waren	Beobachtete Ablenkung	Tangente des Ablenkungswinkels	Widerstand des Elementes
1	0m	69° »'	2, 600	»m »
	5	43 20	0, 943	2, 85
	10	30 »	0, 577	2, 85
	40	11 »	0, 194	3, 20
			Mittel . . .	2, 97
2	0	66 30	2, 300	» »
	5	43 »	0, 933	3, 41
	10	29 40	0, 570	3, 35
	40	10 40	0, 488	3, 55
			Mittel . . .	3, 44
3	0	67 40	2, 434	» »
	5	42 30	0, 916	3, 02
	10	29 40	0, 570	3, 05
	40	10 20	0, 182	3, 23
			Mittel . . .	3, 10
4	0	67 »	2, 355	» »
	5	42 30	0, 909	3, 19
	10	29 40	0, 570	3, 19
	40	10 20	0, 482	3, 55
			Mittel . . .	3, 25
5	0	68 »	2, 475	» »
	5	43 20	0, 943	3, 08
	10	30 30	0, 589	3, 13
	40	11 »	0, 194	3, 40
			Mittel . . .	3, 21
6	0	64 »	2, 050	» »
	5	41 »	0, 869	3, 68
	10	28 40	0, 548	3, 64
	40	10 »	0, 176	3, 57
			Mittel . . .	3, 69

Die letzte Columne drückt aus, wie lang ein Draht von der zur Einschaltung angewandten Dicke seyn müßte, um denselben Leitungswiderstand hervorzubringen wie der, welcher zu überwinden ist, wenn das Element nur durch die Tangentenbousſole geschlossen ist.

Die einzelnen Elemente hatten also fast gleiche Stärke, nur das 6te war etwas schwächer. Diese 6 Elemente, zu einer Kette verbunden, gaben einen Strom, welcher einen Platindraht von $^1/_4$ Millimeter Dicke und mehr als 20 Centimeter Länge fortdauernd glühend erhalten konnte. Ließ man nun diesen Strom durch die Tangentenbouſſole gehen, ſo erhielt man bei Einſchaltung verſchiedener Längen von Kupferdraht folgende Reſultate:

Länge des eingeſchalteten Drahtes	Beobachtete Ablenkung	Tangente des Ablenkungswinkels	Widerſtände
0 Meter	68° 30′	2,538	Meter
5	63 20	1,991	18,20
10	58 30	1,632	19,03
40	39 0	0,810	18,01
70	28 0	0,532	18,56
100	21 30	9,394	18,38
		Mittel . . .	18,43

Die 6 Elemente zuſammen leiſten alſo mit der Tangentenbouſſole einen Leitungswiderſtand wie ein 18,43 Meter langes Stück des eingeſchalteten Drahtes.

Aus dieſen Verſuchen geht hervor, daß die 6 Elemente, nun durch die Tangentenbouſſole geſchloſſen, eine Ablenkung geben, welche nicht größer iſt als diejenige, welche ein einziges nur durch die Tangentenbouſſole geſchloſſenes Element giebt. Schaltet man aber einen Draht ein, ſo daß der Widerſtand im Schließungsbogen bedeutend wird, ſo wird durch Vermehrung der Elemente die Stromſtärke vergrößert. Die Ablenkung iſt 39° für 6, 10 bis 11° für ein Element, wenn ein 40 Meter langer Draht eingeſchaltet wird.

Ferner zeigen dieſe Verſuche, daß der Widerſtand der Säule weit größer iſt als der eines jeden einzelnen Elementes, daß übrigens auch hier die Stromſtärke dem allgemeinen Geſetze unterworfen bleibt, daß ſich nämlich die Stromſtärke umgekehrt verhält wie die Geſammtlänge der zu durchlaufenden Kette (für jedes einzelne Element iſt natürlich ſeine reducirte Länge in Rechnung zu bringen).

80 **Theorie des Multiplicators.** Nach den eben entwickelten Geſetzen kann man auch beſtimmen, welche Einrichtung man einem Multiplicator geben müſſe, damit er möglichſt empfindlich ſey. Einige Beiſpiele werden hinreichen, die allgemeinen Principien verſtändlich zu machen und zu

zeigen, daß die Construction des Multiplicators ganz und gar von der Kette abhängt, in welche man ihn einschalten will.

1) Wenn man einen Multiplicator bei einer Kette anwendet, welche an und für sich eine bedeutende Länge hat, so muß man dem Multiplicator eine große Anzahl von Windungen geben, und braucht ihn nicht aus einem gar dicken Drahte zu construiren. Nehmen wir z. B. an, die Kette bestehe aus einem $^1/_{10}$ Millimeter dicken und 100 Meter langen Kupferdrahte, so wird, wenn man einen ebenso langen und ebenso dicken Multiplicatordraht hinzufügt, die Stromstärke nur auf die Hälfte reducirt, mit diesen 100 Metern kann man aber viele sehr dicht auf einander liegende Windungen machen, welche auf die Nadel eine sehr kräftige Wirkung ausüben. Wollte man den Multiplicatordraht nur 10 Meter lang machen, so würde die Stromstärke $^{10}/_{11}$ der ursprünglichen seyn, durch diesen kürzeren Multiplicatordraht wäre also der Strom an und für sich freilich nicht so stark geschwächt worden, wie im vorigen Falle; mit dem 10 Meter langen Drahte kann man aber nur 10mal weniger Windungen machen als mit dem 100 Meter langen, und es ist klar, daß 10 Windungen, von denen jede die Stromstärke $^1/_2$ besitzt, stärker wirken, als eine Windung von der Stromstärke $^{10}/_{11}$.

Hätte man statt des 100 Meter langen und $^1/_{10}$ Millimeter dicken Multiplicatordrahtes einen ebenso langen, aber 1 Millimeter dicken angewendet, so würde die Einschaltung dieses Drahtes fast nichts an der Stromstärke der Kette geändert haben, während der gleich lange $^1/_{10}$ Millimeter dicke Draht sie auf die Hälfte reducirte. Man sollte demnach meinen, daß bei gleicher Länge der dickere Multiplicatordraht die doppelte Wirkung geben müßte. Dies ist jedoch nicht der Fall, weil die Windungen des dünneren Drahtes dichter zusammen gewunden werden können, also der Nadel alle näher sind und deshalb auch kräftiger wirken. Man kann demnach leicht den Einfluß der Länge und der Dicke des Multiplicatordrahtes für jeden Fall richtig beurtheilen.

2) Wenn der Multiplicator in eine Kette eingeschaltet werden soll, welche an und für sich nicht lang ist, so muß man einen kurzen, dicken Draht nehmen und wenige Windungen machen. Man kann sich davon leicht durch ein dem vorigen ganz ähnliches Raisonnement überzeugen.

Wenn also die Kette, in welche man den Multiplicator einschalten will, kurz ist, so kann man in der That sagen, daß der Multiplicator nicht mehr multiplicirt, denn vorausgesetzt, daß die Länge der Kette selbst gegen die des Multiplicatordrahtes vernachlässigt werden kann, so ist klar, daß, wenn man 10mal so viel Windungen macht, man einen 10mal längern Draht nehmen muß, wodurch die Stromstärke auf $^1/_{10}$ reducirt wird.

Zehn Windungen von der Stromstärke $^1/_{10}$ wirken aber nicht mehr als eine einzige von der Stromstärke 1.

81 **Leitungsfähigkeit der Metalle.** Bei den auf Seite 180 angeführten Versuchen wurden Drahtstücke von verschiedener Länge in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet und dadurch das Verhältniß der Stromstärke zur Länge des Schließungsdrahtes ermittelt. Wenn man nun aber gleich lange, aber ungleich dicke Drähte desselben Metalls in den Schließungsbogen einschaltet und immer die entsprechenden Ablenkungen der Nadel der Tangentenbouſſole beobachtet, so ergiebt sich aus diesen Versuchen das Verhältniß der Stromstärke zur Dicke der Drähte; man findet: daß die Stromstärke dem Querschnitte der Drähte proportional ist; oder mit anderen Worten: zwei Drähte desselben Metalls werden gleichen Leitungswiderstand ausüben, wenn sich ihre Längen umgekehrt verhalten wie ihre Querschnitte.

Um die Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle mit einander zu vergleichen, ist wohl keine Methode einfacher und sicherer, als den Strom eines hinlänglich kräftigen Elementes durch die Tangentenbouſſole zu leiten, Drähte verschiedener Metalle in den Schließungsbogen einzuschalten und die entsprechenden Ablenkungen zu beobachten.

Nach Pouillet's Versuchen, die jedoch nach einer andern Methode angestellt worden waren, verhält sich die Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle wie folgende Tabelle angiebt.

Silber	136	
Gold	103	
Kupfer	100	
Zink	28	(Becquerel)
Platin	22	
Eisen	17	
Queckſilber	2,6.	

D. h. ein Kupferdraht von 100 Fuß Länge leistet einem elektrischen Strome einen ebenso großen Widerstand, wie gleich dicke Drähte von Silber, Zink, Platin, Eisen u. s. w., welche resp. 136, 28, 22, 17 Fuß lang sind.

Um das Leitungsvermögen des Queckſilbers zu bestimmen, wandte er statt des Drahtes eine vollkommen cylindrische mit Queckſilber gefüllte Glasröhre an, deren Durchmesser man durch Wägung ermitteln kann.

Fig. 157.

Die Enden dieser Röhre, Fig. 157, stecken in zwei hinlänglich weiten Glasröhren.

Ein erhitzter Draht leitet den

elektrischen Strom nicht so gut wie ein kalter, oder mit anderen Worten, durch Erwärmung wird die Leitungsfähigkeit der Metalle vermindert; die Ablenkung der Nadel in der Tangentenbousſole wird sogleich vermindert, wenn man den in den Schließungsbogen eingeschalteten Draht durch eine Weingeistflamme erhitzt.

Verhältniß der Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten und der Metalle. 82 Um die verschiedenen Quellen der Elektricität mit einander vergleichen zu können, ist es nöthig zu wissen, in welchem Verhältnisse die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten zu der der Metalle steht. Für Flüssigkeiten aber wie für Metalle gilt der Satz, daß die Stromstärke im geraden Verhältnisse des Querschnitts und im umgekehrten der Länge steht. Es läßt sich dies auf folgende Weise darthun.

Man richtet mehrere Systeme von Röhren in der Weise her, wie man Fig. 158 sieht. Die beiden Röhren desselben Systems sind einander vollkommen gleich und möglichst cylindrisch; sie werden mit Flüssigkeit gefüllt, und dann der Strom durch sie und die Sinusbousſole hindurchgeleitet. Die Verbindung wird nun auf dreierlei Weise hergestellt, so daß man drei verschiedene Ablenkungen erhält.

Fig. 158.

Bei dem ersten Versuche geht der Strom nur durch eine Röhre, er durchläuft also eine flüssige Säule von der Länge 1 und dem Querschnitte 1.

Bei dem zweiten Versuche geht der Strom zugleich durch die beiden Röhren, er durchläuft also eine flüssige Säule von der Länge 1 und dem Querschnitte 2.

Bei dem dritten Versuche geht der Strom erst durch die eine und dann durch die andere Röhre, er durchläuft also eine Säule von der Länge 2 und dem Querschnitte 1.

Vergleicht man nun die Ablenkungen, welche man in diesen drei Fällen erhält, so ergiebt sich der oben ausgesprochene Satz.

Wenn man sehr weite Röhren und gut leitende Flüssigkeiten hat, so muß man den Widerstand in dem elektromotorischen Apparate und in dem Drahte der Bousſole in Rechnung bringen, bei engeren Röhren aber und schlechtleitenden Flüssigkeiten kann man diese Widerstände vernachlässigen. Jedenfalls muß die Flüssigkeit immer mit demselben Metalle und zwar mit einem solchen in Berührung gebracht werden, welches nicht von der Flüssigkeit angegriffen wird.

Hat man einmal die Leitungsfähigkeit einer Flüssigkeit mit der eines Metalls verglichen, so braucht man nachher nur die Leitungsfähigkeit der

Flüssigkeiten unter sich zu vergleichen, um zu wissen, wie sich die Leitungsfähigkeit einer jeden zu der irgend eines Metalles verhält.

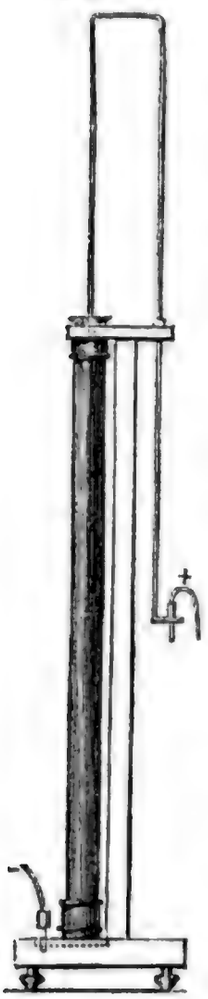
Zu dieser Vergleichung wurde nur Platin und eine gesättigte Lösung von Kupfervitriol von 15° gewählt. Es ergab sich, daß, wenn man den Strom irgend einer Kette durch eine Säule dieser Flüssigkeit von 1 Meter Länge und 20 Millimeter Durchmesser gehen ließ, an der Sinusbousole derselbe Ausschlag erhalten wird, als wenn man denselben Strom durch einen 132 Meter langen und 0,144 Millimeter dicken Platindraht gehen läßt.

Man kann daraus leicht schließen, daß die Leitungsfähigkeit des Platins

$$\frac{1}{2546680}$$

ist, wenn man die der Kupfervitriol-Lösung gleich 1 setzt, daß also Platin $2\frac{1}{2}$millionenmal besser leitet als jene Flüssigkeit.

Fig. 159.



Da das Kupfer $6\frac{1}{2}$mal so gut leitet als Platin, so ist also die Leitungsfähigkeit des Kupfers 16 Millionenmal größer als die eine Auflösung von Kupfervitriol.

Um nun die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten unter sich zu vergleichen, wurde der Apparat Fig. 159 angewandt. Es besteht aus einer cylindrischen Röhre, welche unten mit einer kupfernen Fassung geschlossen ist, und in welche von oben her ein Kupferdraht hineinreicht, den man nach Belieben tiefer oder weniger tief hinabdrücken kann. Diese Röhre wird mit einer gesättigten Lösung von Kupfervitriol gefüllt. Die andere Flüssigkeit befindet sich in einer horizontalen gleichfalls cylindrischen Röhre von passenden Dimensionen. Zuerst läßt man den Strom durch die zu prüfende Flüssigkeit und die Bousole gehen und merkt sich die hervorgebrachte Ablenkung. Dann leitet man den Strom durch die Bousole und die Lösung des Kupfervitriols, verschiebt aber den von oben hineinragenden Kupferdraht so lange, bis man dieselbe Ablenkung erhält, wie mit der andern Flüssigkeit; man hat alsdann nur noch die Länge und den Querschnitt der durchströmten flüssigen Säulen zu vergleichen, um das Verhältniß der Leitungsfähigkeit zu erhalten. Folgendes ist das Resultat der Versuche.

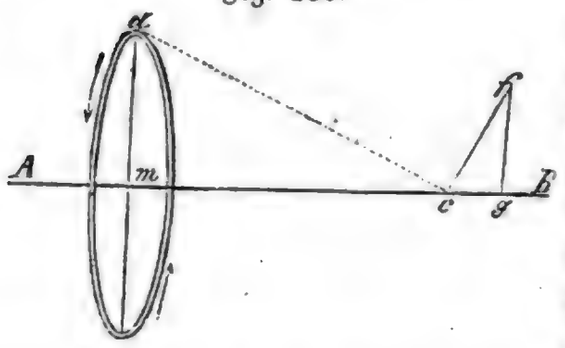
Flüssigkeit.	Leitungsfähigkeit.
Gesättigte Lösung von Kupfervitriol	1,0000
id. verdünnt mit 1 Vol. Wasser	0,6400
id. » » 2 » »	0,4400
id. » » 4 » »	0,3100
Gesättigte Lösung von Zinkvitriol	0,4170
Destillirtes Wasser	0,0025
id. mit $\frac{1}{20000}$ Salpetersäure	0,015

Die Lösung des Zinkvitriols war zwischen Pole von Zink, das Wasser zwischen Pole von Platin gebracht worden.

Messung galvanischer Ströme nach absolutem Maaße. Um ein 83
absolutes Maaß für galvanische Ströme zu erhalten, haben wir nur ihre Wirkung auf die Magnetnadel mit der Wirkung des Erdmagnetismus zu vergleichen; am einfachsten läßt sich aber dann diese Vergleichung nach Weber's Methode ausführen, wenn man die ablenkende Kraft kreisförmiger Ströme durch den Versuch bestimmt.

Die Fig. 160 stelle die perspectivische Ansicht eines kreisförmigen Stromes dar, dessen Ebene mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, so also, daß die durch den Mittelpunkt des Kreisstromes gelegte horizontale Linie $A\,B$ auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht. Untersuchen wir nun zunächst, welche Wirkung der Kreisstrom auf irgend ein magnetisches Element ausübt, welches sich in irgend einem Punkte der Linie $A\,B$, etwa in c, befindet.

Fig. 160.



Wenn der Kreisstrom in der durch die Pfeile bezeichneten Richtung circulirt, so hat ein elementares Theilchen des Stromes, etwa das Theilchen bei d, ein Bestreben, ein nordmagnetisches Element in c nach der Richtung $c\,f$ zu bewegen; die Größe dieser bewegenden Kraft läßt sich durch

$$\frac{g\,\gamma\,\varphi}{l^2}$$

darstellen, wenn g die Stärke des Kreisstromes, γ die Intensität des Magnetismus in dem magnetischen Theilchen bei c, und φ die Länge des elementaren Stromtheilchens bei d bezeichnet. Setzen wir aber den Halbmesser des Kreises gleich y, die Entfernung $m\,c = x$, so ist $l^2 = x^2 + y^2$, und der obige Werth für die bewegende Kraft $c\,f$ wird

$$\frac{g\gamma\varphi}{x^2+y^2}.$$

Zerlegt man die Kraft cf nach der Richtung der Ringaxe, so kann man leicht den Werth der Composante cg bestimmen, denn offenbar verhält sich $cf : cg = cd : cm$, oder $cf : cg = l : y$, mithin ist $cg = \frac{cf \cdot y}{l}$ $= \frac{cf \cdot y}{\sqrt{x^2+y^2}}$ oder endlich

$$cg = \frac{g\gamma\varphi y}{(x^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Setzen wir nun in diesen Werth von cg für das Bogenelement φ den ganzen Umfang $2\Pi y$ des Kreisstromes, so ergiebt sich als Resultante der Kräfte, mit welchen alle Elemente des Kreisstromes das Theilchen γ in der Richtung der Axe zu bewegen suchen,

$$\frac{2\Pi y^2 \gamma g}{(x^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad a),$$

Die Kräfte senkrecht gegen die Richtung der Axe AB heben sich auf.

Aus dieser Formel sehen wir,

1) daß die Wirkung eines Kreisstromes auf irgend ein magnetisches Theilchen, welches auf seiner Axe liegt, sich umgekehrt verhält wie die dritte Potenz der Entfernung $\sqrt{(x^2+y^2)}$ des magnetischen Theilchens von der Peripherie des Kreisstromes, und

2) daß die Wirkung eines Kreisstromes dem Quadrate seines Halbmessers, oder, was dasselbe ist, dem Flächeninhalte des umströmten Kreises proportional ist.

Die Formel

$$\frac{2\Pi y^2 \gamma g}{(x^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$$

kann aber auch die Kraft ausdrücken, mit welcher der Kreisstrom eine in c befindliche kleine Magnetnadel in die Axe AB zu drehen strebt, die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf dieselbe Nadel wirkt, um sie in den magnetischen Meridian zurückzuführen, ist alsdann

$$T\gamma.$$

Der Quotient beider Größen muß aber die Tangente des Ablenkungswinkels geben, es ist also

$$\frac{2\Pi y^2 g}{T(x^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} = tang.\, u.$$

Nun gilt aber diese Formel, in welchem Punkte der Axe AB sich auch die Nadel befinden mag, wenn ihre Länge nur klein genug gegen ihre Entfernung von der Peripherie des Kreisstromes ist. Für den Fall nun, daß die kleine Nadel in dem Mittelpunkte des Kreisstromes liegt, ist $x = o$,

und $y = R$, wenn R den Halbmeſſer des Kreisſtromes bezeichnet, wir erhalten alsdann

$$\frac{2\,\Pi\,R^2\,g}{T\,R^3} = tang.\,u.$$

daraus

$$\Pi\,R^2\,g = \frac{T\,R^3\,tang.\,u}{2}$$

und endlich

$$g = \frac{T\,R\,tang.\,u}{2\,\Pi}.$$

Wir haben jetzt einen Werth für g gefunden und müſſen nur noch die nähere Bedeutung deſſelben ermitteln.

Wir haben oben Seite 44 geſehen, wie man aus den Schwingungen eines Magnetſtabes das Drehungsmoment C beſtimmen kann, mit welchem der Erdmagnetismus den Stab zu drehen ſtrebt, wenn derſelbe rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridiane ſteht. Dieſes Drehungsmoment iſt aber ein Produkt des Momentes des Magneten M und der Intenſität T des Erdmagnetismus. Nun äußert der Erdmagnetismus auch ein Beſtreben, einen kreisförmigen Strom, der im magnetiſchen Meridiane ſteht, rechtwinklig auf denſelben zu ſtellen, und dieſes Drehungsmoment ließe ſich auch durch Schwingungsverſuche ausmitteln, wenn man nur den Kreisſtrom beweglich genug machen könnte.

Nun aber giebt es, da ja der Werth T ſchon bekannt iſt, noch ein anderes Mittel, den Werth von M für einen kleinen Magnetſtab zu beſtimmen. Wir haben oben geſehen, daß, wenn man einen kleinen Magneten in eine ſolche Lage gegen eine Magnetnadel bringt, wie Fig. 30, Seite 39 zeigt, alsdann

$$\frac{M}{T} = R^3\,tang.\,v,$$

wenn v die beobachtete Ablenkung der Nadel und r die Entfernung des Magneten von derſelben bezeichnet; aus einem ſolchen Ablenkungsverſuche kann man alſo den Werth von M beſtimmen, denn es iſt

$$M = T\,R^3\,tang.\,v.$$

Bringt man aber denſelben Magneten in die Fig. 29 dargeſtellte Lage gegen die Nadel, ſo erhält man eine ſolche Ablenkung u der Nadel, daß bei gleicher Entfernung die Tangente des Ablenkungswinkels u jetzt doppelt ſo groß iſt, als die Tangente der in der erſten Lage beobachteten Ablenkung v; hat man alſo bei der Fig. 29 dargeſtellten Lage die Ablenkungsverſuche gemacht, ſo iſt

$$N = T\,.\,R^3\,\frac{tang.\,u}{2}.$$

Da man nun mit einem galvanischen Kreisstrome auf dieselbe Weise Ablenkungsversuche machen kann, so kann man also auch das Moment G für einen solchen Strom eben so gut bestimmen, wie den Werth M für einen Magneten; es ist nämlich

$$G = \frac{T R^3 \, tang. \, u}{2}$$

wir haben aber eben gesehen, daß auch

$$\Pi R^2 g = \frac{T R^3 \, tang. \, u}{2}$$

das Moment eines Kreisstromes ist also dem Inhalte der umströmten Kreisfläche proportional. Das Moment eines Kreisstromes ist demnach

$$G = \Pi R^2 g$$

das Moment eines Kreisstromes von gleicher Stromstärke, welchen die Einheit der Fläche umströmt, für welchen also $\Pi R^2 = 1$, haben wir also

$$g = G,$$

es drückt also der Werth g das Moment eines Kreisstromes aus, welcher die Flächeneinheit umströmt. Die Einheit der Stromintensität ist also diejenige Stromstärke, welche, die Einheit der Fläche umkreisend, in die Ferne dieselbe Wirkung hervorbringt wie die Einheit des freien Magnetismus.

Wenn z. B. ein Strom in der Tangentenbousſole, Fig. 151, deren Radius 100^{mm} beträgt, eine Ablenkung von 54^0 hervorbringt, so ist für diesen Strom

$$g = T . \frac{100 . tang. 54^0}{2 \Pi} = T . 21{,}9,$$

ein Strom von dieser Stärke würde also, wenn er die Flächeneinheit umkreis't, auf die Entfernung 1 eine 21,9mal stärkere Wirkung ausüben als der horizontale Theil des Erdmagnetismus am Beobachtungsorte. Gesetzt, der Werth von T sey für diesen Ort 1,774, so wäre demnach

$$g = 38{,}85,$$

d. h. ein Strom von dieser Stärke, die Flächeneinheit umkreisend, wirkt in die Ferne 38,85mal so stark wie die Einheit des freien Magnetismus.

84 **Das elektrochemische Aequivalent des Wassers.** Wie schon früher erwähnt wurde, hat Faraday das wichtige Gesetz nachgewiesen, daß, wenn eine Flüssigkeit durch einen galvanischen Strom zersetzt wird, daß alsdann die Quantität der zersetzten Flüssigkeit der zu dieser Zersetzung verwandten Stromquantität proportional sey, daß also die durch den Strom hervorgebrachte chemische Zersetzung ein Maaß für die Quantität der circulirenden Elektricität ist. Nun aber wird die Stromkraft auch durch die magnetischen Wirkungen des Stromes gemessen, und beide Effecte sind stets einander proportional.

Wenn man in den Schließungsbogen einer galvanischen Kette einen Wasserzersetzungsapparat und die Weber'sche Tangentenbousſole einschaltet, so wird in einer gegebenen Zeit eine bestimmte Quantität Wasser zersetzt, während man eine Ablenkung v der Nadel beobachtet. Wenn man nun auf irgend eine Weise die Quantität der Wasserzersetzung vermehrt, so wird die magnetische Wirkung in demselben Verhältniß zunehmen; hätte man etwa durch Anwendung einer kräftigen Säule in derselben Zeit zweimal, dreimal so viel Wasser zersetzt, so würde auch die Tangente des Ablenkungswinkels zweimal, dreimal größer geworden seyn.

Faraday hat ferner gezeigt, daß chemisch äquivalente Massen verschiedener Körper zu ihrer Zersetzung gleiche Stromquantitäten gebrauchen, oder mit anderen Worten, daß die elektrochemischen Aequivalente den gewöhnlichen chemischen Aequivalenten proportional sind. Will man die elektrochemischen Aequivalente in Zahlen ausdrücken, so ist vor allen Dingen eine Einheit für den galvanischen Strom zu bestimmen und dann zu ermitteln, wie viel Wasser in der Zeiteinheit durch die Stromeinheit zersetzt wird, um so das elektrochemische Aequivalent des Wassers zu bestimmen.

In der vorigen Nummer haben wir gesehen, wie man die Stromkraft auf ein absolutes Maaß zurückführen kann, und die dort zu Grunde gelegte Einheit der Stromkraft kann auch dienen, um das elektrochemische Aequivalent des Wassers in absoluten Zahlen auszudrücken.

Ein und derselbe Strom werde durch einen Wasserzersetzungsapparat und zugleich durch die Weber'sche Tangentenbousſole geleitet; die Quantität des in t Sekunden zersetzten Wassers sey mit w bezeichnet, g sey die nach der vorigen Nummer berechnete Stromkraft, so ist $\frac{w}{t}$ die Quantität des in einer Sekunde zersetzten Wassers und

$$\frac{w}{g\,t}$$

das elektrochemische Aequivalent des Wassers, d. h. die Quantität des Wassers, welches während der Zeiteinheit (der Sekunde) durch den galvanischen Strom zerlegt wird, der zur Einheit der Stromkraft festgesetzt worden ist.

Weber hat in diesem Sinne das elektrochemische Aequivalent des Wassers durch eine äußerst genaue Versuchsreihe bestimmt und dafür den Werth

0,009376

gefunden, d. h. die in der vorigen Nummer bestimmte Stromeinheit zersetzt in einer Sekunde 0,009376 Milligramm Wasser.

Weber hat zur Bestimmung des elektrochemischen Aequivalentes des Wassers den Werth von g nach einer Methode bestimmt, deren Betrach-

tung uns hier zu weit führen würde (Poggendorff's Annalen Bd. LV. S. 181).

Bunsen hat das elektrochemische Aequivalent des Zinks mit Hülfe der Weber'schen Tangentenbouſſole bestimmt; der Versuch wurde auf folgende Weise angestellt. Die Thonzelle einer einfachen Kohlenzinkkette wurde mit Kochsalzlösung gefüllt, ein amalgamirter Zinkstreifen statt des Zinkcylinders in diese eingetaucht, und dann die Kette durch die Tangentenbouſſole geschloſſen. Die beobachtete Ablenkung betrug anfangs 29°42′, nahm aber 1 Minute 45 Sekunden lang allmälig bis auf 26°21′ ab und blieb dann constant. Vom Beginne des Stromes an wurde alle 15 Sekunden die Ablenkung der Nadel und zwar 5 Minuten lang beobachtet; das Mittel aus den auf diese Weise beobachteten 21 Ablenkungen, von denen die letzten 14 sämmtlich 26°21′ betrugen, ist 26°58,5′; während der 5 Minuten, in denen die Kette geschloſſen war, wurden aber 0,2982 Gramm Zink aufgelöſ't.

Bei einem ähnlichen, etwas anders arrangirten Versuch war das Mittel aus den 21 abgeleſenen Ablenkungen 40°11,6′, und während 5 Minuten wurden 0,5055 Gramm Zink aufgelöſ't.

Die in beiden Versuchen aufgelöſ'ten Mengen von Zink verhalten sich wie 1 : 1,695; die Tangenten der mittleren Ablenkungswinkel aber wie 1 : 1,661; die chemischen und die magnetischen Wirkungen des Stroms sind also in der That fast in gleichem Verhältniß gewachsen. Suchen wir nun nach diesen Versuchen das elektromotorische Aequivalent des Zinks zu berechnen.

Die Stromstärke berechnen wir nach der Formel:

$$g = \frac{1}{2\,\pi}\, T R\, tang.\, v.$$

R war bei der zu diesen Versuchen angewandten Tangentenbouſſole 204 Millimeter; da nun v für die erste Versuchsreihe 26°58,5′, für die zweite aber 40°11,6′ ist, so ergiebt sich für die erste Versuchsreihe

$$g = 30{,}169,$$

für die zweite

$$g = 50{,}099,$$

wenn man den Werth von T für Marburg $= 1{,}827$ setzt.

Im Allgemeinen ist zwar der Werth von T für Marburg 1,88, in dem eisenhaltigen Lokale jedoch, in welchem die Versuche angestellt wurden, ergab sich aus besonders deshalb angestellten Versuchen für T der Werth 1,827.

Da während 300 Sekunden bei der ersten Versuchsreihe 0,2982 Gramm Zink aufgelöſ't worden waren, so kommt auf eine Sekunde $\frac{0{,}2982}{300} =$

0,000994; dividirt man diese Zahl durch die mittlere Stromstärke 31,045 der ersten Versuchsreihe, so erhält man für das elektrochemische Aequivalent des Zinks

0,00003294.

Aus der zweiten Versuchsreihe ergiebt sich auf dieselbe Weise für dieses Aequivalent

0,00003364.

Nun verhält sich das chemische Aequivalent des Wassers zu dem des Zinks wie 112,48 : 403,23; da nun Weber für das elektrochemische Aequivalent des Wassers 0,000009376 gefunden hat, so ergäbe sich demnach für das elektrochemische Aequivalent des Zinks

0,00003369,

was mit dem oben berechneten in der That sehr nahe übereinstimmt.

Vierte Abtheilung.

Vom Elektromagnetismus.

Erstes Kapitel.

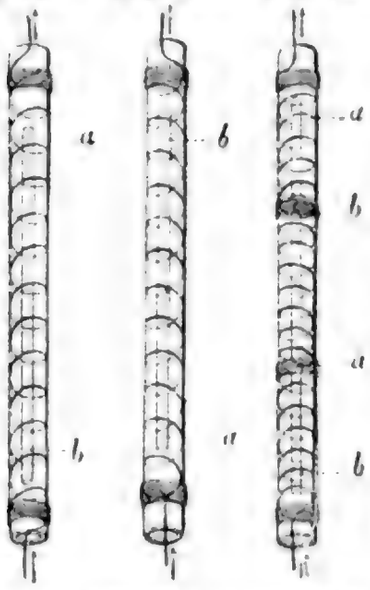
Magnetische Wirkungen des Stromes.

Wir haben zwar schon oben angeführt, daß der elektrische Strom im Stande sey, die Magnetnadel abzulenken, wir sind aber alsbald, ohne diese magnetischen Wirkungen weiter zu verfolgen, zu den Anwendungen übergegangen, welche man von der Ablenkung der Magnetnadel gemacht hat, um die Gesetze der Stromstärke zu ermitteln; der weiteren Betrachtung der magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes ist das folgende Kapitel gewidmet.

Magnetisirung durch den galvanischen Strom. Der elektrische 85
Strom wirkt nicht allein auf den freien Magnetismus, sondern er ist auch im Stande, die noch verbundenen magnetischen Flüssigkeiten zu trennen. Um die Wirkung des Stromes auf das weiche Eisen zu zeigen, braucht man den Draht nur in Eisenfeile zu tauchen oder mit Eisenfeile zu be-

streuen, während der galvanische Strom hindurchgeht. Die Eisenfeile bleibt an dem Drahte hängen, bis man den Strom unterbricht. Kleine Stahlnadeln kann man mittelst des galvanischen Stromes zu bleibenden Magneten machen; damit aber der Strom recht wirksam sey, muß man ihn zu diesem Zweck transversal um die Nadel herumleiten, wie dies bei der folgenden Anordnung der Fall ist. Man windet einen Kupferdraht schraubenförmig um eine Glasröhre, in welche man eine Stahlnadel legt (Fig. 161). Läßt man nun einen Strom durch die Windungen des Drahtes hindurchgehen, so wird dadurch die Nadel bleibend magnetisch, und zwar braucht der Strom nur einen Augenblick hindurchzugehen, um die Nadel so vollständig zu magnetisiren als es nur möglich ist.

Fig. 161. Fig. 162. Fig. 163.

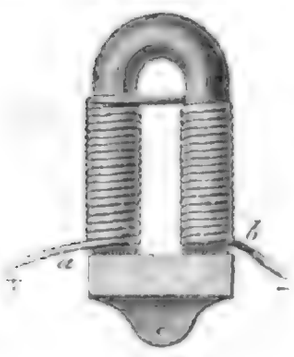


Man unterscheidet rechtsgewundene (Fig. 161) und linksgewundene Schraubendrähte (Fig. 162). Rechtsgewundene Schraubendrähte sind diejenigen, bei welchen die Windungen gerade so laufen wie bei einem Korkzieher oder einer gewöhnlichen Schraube.

Bei rechtsgewundenen Schraubendrähten bildet sich der Nordpol (das Südende) der Nadel an dem Ende, wo der positive Strom eintritt, bei linksgewundenen aber nach dem Ende hin, wo er austritt. In den Figuren ist der Nordpol mit *b*, der Südpol mit *a* bezeichnet.

Wenn man auf demselben Glasrohre den Draht abwechselnd rechts und links aufwindet, wie Fig. 163, so bilden sich Folgepunkte in der Nadel.

Fig. 164.



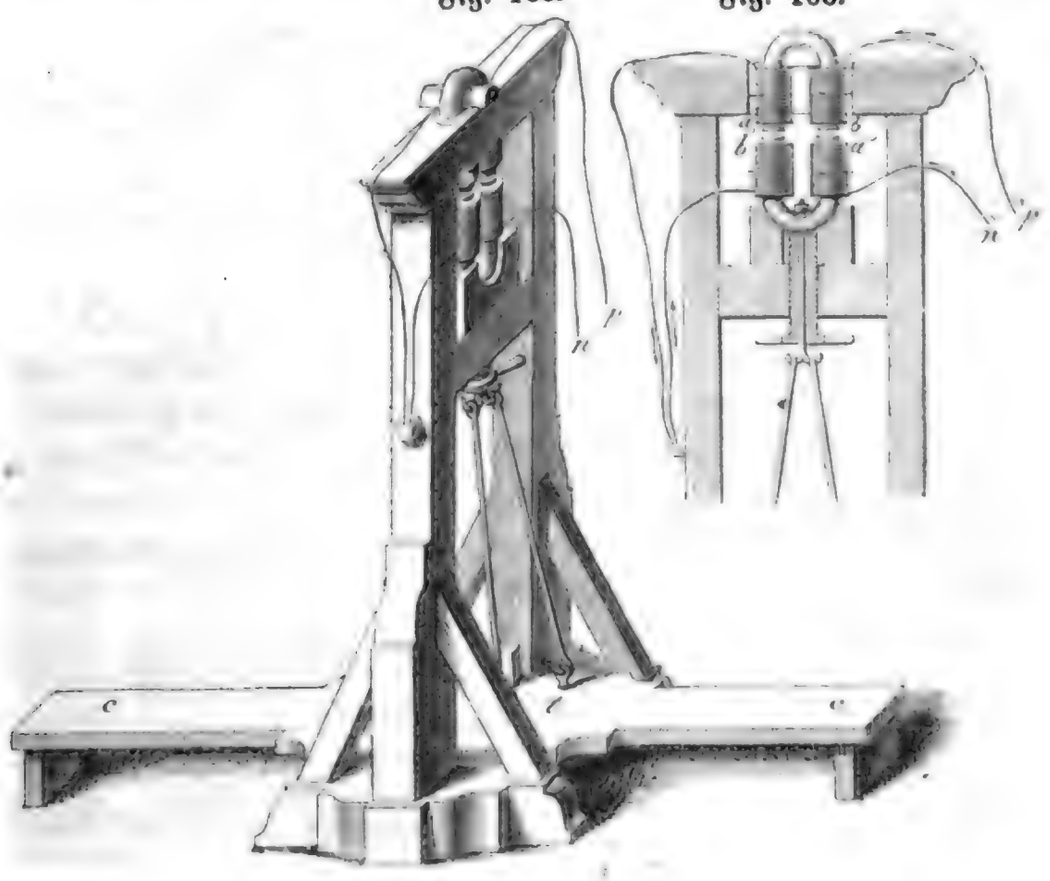
Aus weichem Eisen kann man mittelst des galvanischen Stroms Magnete machen, welche alle Stahlmagnete an Stärke weit übertreffen. Man braucht nur ein starkes hufeisenförmig gebogenes Eisen mit dickem Kupferdraht in der Weise zu umwickeln, wie man Fig. 164 sieht. Der Kupferdraht muß mit Seide überzogen seyn, damit der Strom sich nicht seitwärts von einer Windung zur andern (die Windungen liegen dicht neben einander) und nicht in das Eisen übergehen kann, sondern den Draht seiner ganzen Länge nach durchlaufen muß. Der Draht ist um beide Schenkel des Hufeisens in gleicher Richtung, um beide etwa rechts, gewunden; wenn also der positive Strom bei *a* eintritt, so wird sich bei *a* ein Nordpol, bei *b* ein Südpol bilden. Mittelst eines Ankers kann

man Gewichte an einen ſolchen Magneten anhängen. Ein Magnet dieſer Art, deſſen Eiſenkern 6 — 8 Centimeter Durchmeſſer hat und an welchem jeder Schenkel ohngefähr 1 bis 1,5 Fuß lang iſt, kann eine Laſt von 800 bis 1000 Pfund tragen, wenn nur der Draht dick genug iſt und ein hinlänglich kräftiger Strom hindurchgeht. Als Elektromotor wendet man für dieſe Elektromagnete gewöhnlich den Apparat Fig. 129 oder 130 oder auch Groveſche oder Bunſenſche Elemente an. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß das Eiſen faſt ganz aufhört, magnetiſch zu ſeyn, ſobald der galvaniſche Strom aufhört.

Die Größe der magnetiſchen Wirkung eines Stromes hängt lediglich von der Quantität der Elektricität ab, weshalb man auch zu den eben beſchriebenen Elektromagneten ein einfaches Plattenpaar anwendet; weil aber der Strom einer einfachen Kette nur eine ſehr geringe Intenſität hat, ſo muß der Draht, der den Strom um das Eiſen herumleitet, ſehr dick ſeyn. Man kann aber auch Ketten von geringerer Quantität, aber größerer Intenſität anwenden, um Elektromagnete zu machen, nur muß man alsdann den Draht, der hier dünner ſeyn kann, mehrmals um den Eiſenkern herumwinden.

Ein Elektromagnet dieſer Art, welcher über 2000 Pfund trägt, iſt Fig. 165 und Fig. 166 dargeſtellt. Er beſteht aus zwei runden Eiſen-

Fig. 165. Fig. 166.

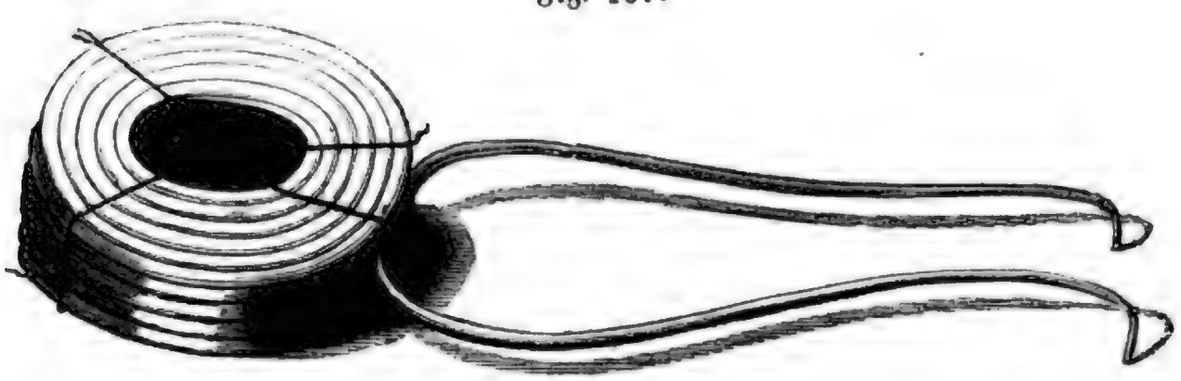


stücken von hufeisenförmiger Gestalt, welche 8 bis 10 Centimeter im Durchmesser und eine Totallänge von 60 bis 80 Centimeter haben. Die beiden Arme eines jeden Hufeisens sind mit einem ohngefähr 1000 Meter langen und $^2/_3$ Millimeter dicken mit Seide übersponnenen Kupferdraht umwunden. Ein und derselbe Strom legt nun den ganzen Weg durch den 1000 Meter langen Draht zurück, dessen Windungen von der Art sind, daß die entgegengesetzten Pole einander gegenüber stehen. Als Elektromotor dient für diesen Apparat eine kräftige Kette von 24 Paaren.

Sobald der Strom zu circuliren beginnt, wird der bewegliche Elektromagnet *a' b'* durch den festen *a b* gehoben, und wenn sie einmal an einander haften, kann man das bedeutende Gewicht von 1000 Kilogramm auf das Brett *c t c* auflegen.

Ebenso wie man durch den galvanischen Strom im weichen Eisen einen vorübergehenden kräftigen Magnetismus erzeugen kann, ist man auch im Stande, mit Hülfe desselben Stahlmagnete von großer Stärke hervorzubringen. Eine zu diesem Zweck besonders geeignete Vorrichtung ist die in Fig. 167 abgebildete von Elias angegebene Drahtrolle.

Fig. 167.



Ein ungefähr 25 Fuß langer, $^1/_8$ Zoll dicker Kupferdraht wird mit Seide gehörig umwickelt und dann so zu einer Drahtrolle gewunden, wie die Figur zeigt. Die Höhe der Drahtrolle beträgt 1 Zoll, der Durchmesser der inneren Höhlung $1^1/_2$ Zoll. Die beiden Drahtenden werden, wenn man einen Stahlstab magnetisiren will, mit den Polen eines kräftigen Volta'schen Elementes in Verbindung gebracht.

Während nun ein kräftiger Strom in den Drahtwindungen circulirt, steckt man den zu magnetisirenden Stahlstab in die Rolle und bewegt ihn bis an die Enden auf und nieder, und wenn er sich wieder mit seinem mittleren Theile in der Rolle befindet, wird die Kette geöffnet und dann der Stab vollkommen magnetisirt herausgenommen.

Es ist gut, den Stahlstab oben und unten mit einem Stück weichen Eisen

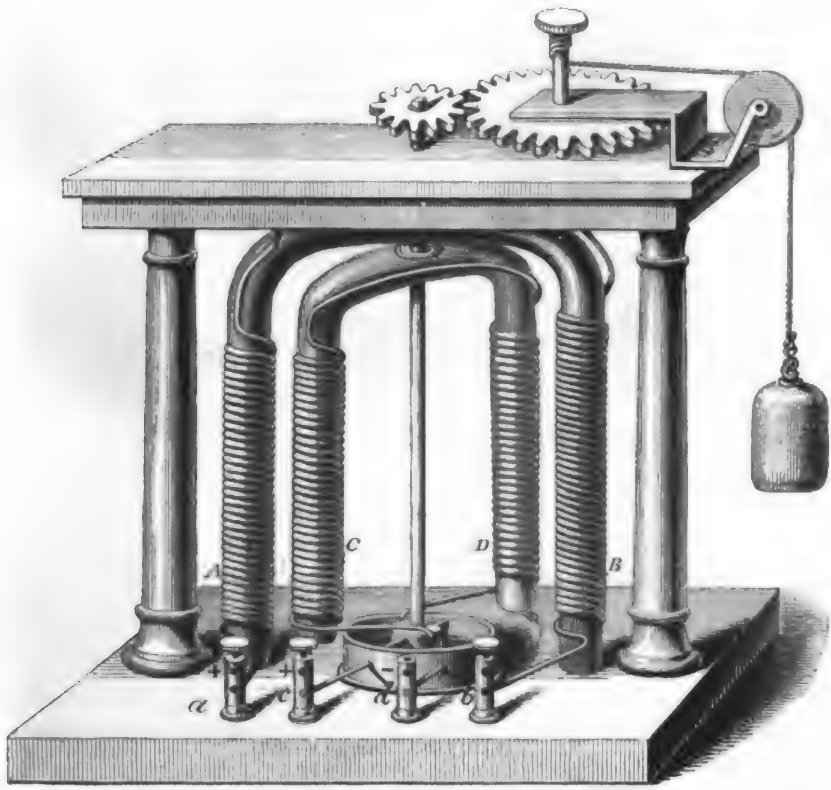
und, wenn der zu magnetiſirende Stab hufeiſenförmig gebogen iſt, ihn während der Operation mit einem Anker zu verſehen.

Elias wandte zu ſeinen Verſuchen ein Grove'ſches Zink-Platinelement an, welches $\frac{1}{3}$ Quadratfuß wirkſame Platinoberfläche hatte.

Die Wirkung dieſer Vorrichtung iſt ſo kräftig, daß man mit Hülfe derſelben die Pole eines ſtarken Magnetſtabes alsbald umkehren kann.

Benutzung des galvaniſchen Stromes als bewegende Kraft. 86
Die kräftigen magnetiſchen Wirkungen, welche der elektriſche Strom hervorzubringen im Stande iſt, führten auf die Idee, denſelben als bewegende Kraft zu benutzen. Die Fig. 168 zeigt einen Apparat, welcher ſehr

Fig. 168.



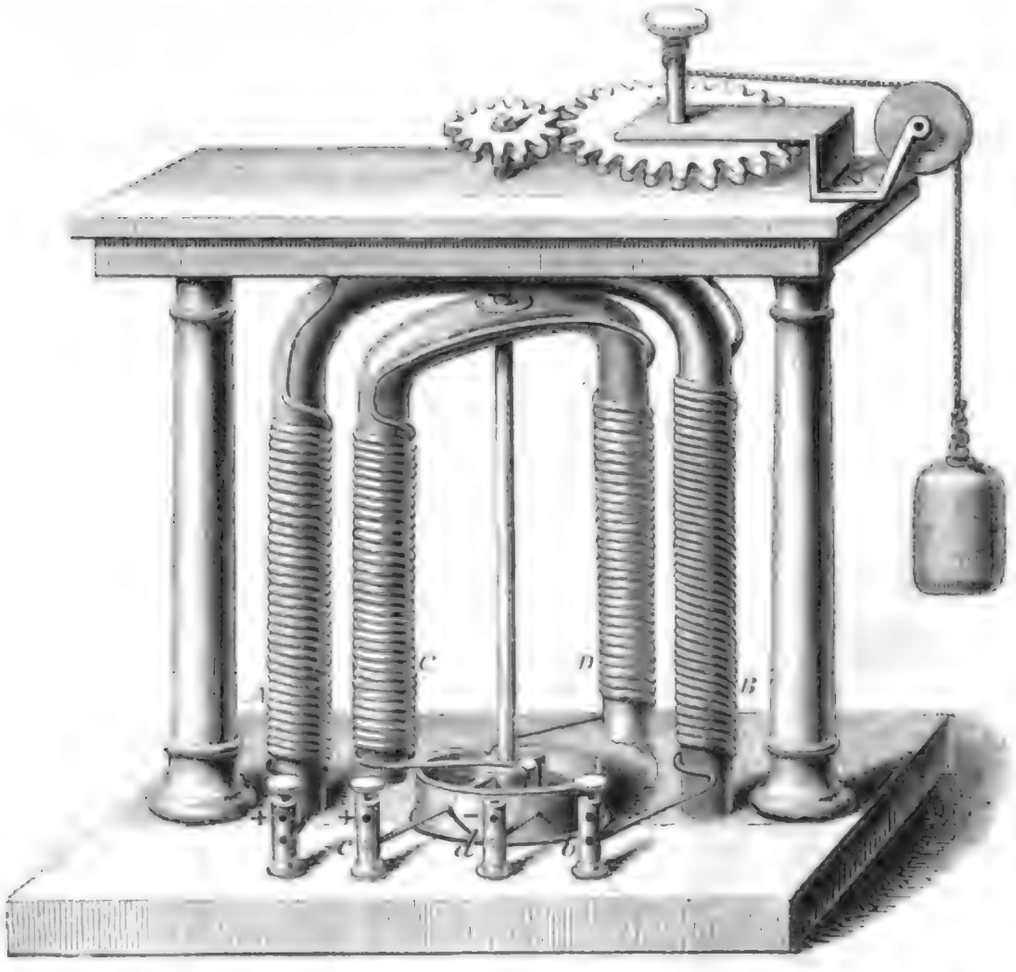
geeignet iſt, zu zeigen, wie man durch die magnetiſirende Wirkung des galvaniſchen Stromes eine continuirliche Bewegung hervorbringen kann.

AB iſt ein hufeiſenförmig gebogenes, an dem Geſtelle befeſtigtes weiches Eiſen, welches mit Kupferdraht in der Weiſe umſponnen iſt, wie der Elektromagnet Fig. 164. Das eine Ende des Drahtes geht zu dem Meſſingſäulchen *a*, das andere nach *b*, in *a* und *b* werden aber die Poldrähte

eines kräftigen galvanischen Elementes eingeschraubt, und dadurch das Eisen *AB* zu einem Magnete gemacht.

Innerhalb des Hufeisens *AB* ist ein ähnliches, kleineres *CD* angebracht,

Fig. 169.



welches um eine vertikale Axe drehbar ist. Auch dieses Eisen *CD* ist mit Kupferdraht in der bekannten Weise umwunden, die beiden Enden dieses Drahtes tauchen aber in eine mit Quecksilber gefüllte hölzerne ringförmige Rinne herab. Diese Rinne ist nun durch zwei Scheidewände von Holz oder Elfenbein in zwei Abtheilungen getheilt; die eine ist durch einen Kupferdraht mit dem Messingsäulchen *c*, die andere mit dem Messingsäulchen *d* in leitender Verbindung (in *c* und *d* werden die beiden Poldrähte einer einfachen Kette angeschraubt). Die beiden Abtheilungen der Rinne sind nun mit Quecksilber so weit gefüllt, daß das Niveau desselben in jeder Abtheilung zwar über die Scheidewände hinausragt, daß es aber doch nicht aus einer Abtheilung in die andere überfließen kann, was sehr leicht möglich ist, weil das Quecksilber in jeder Abtheilung gleichsam einen convexen Tropfen bildet. Die beiden Drahtenden des Elektromagneten *CD* gehen nur gerade so weit herab, daß das eine in das Quecksilber der einen, das andere in das Quecksilber der andern Abtheilung eintaucht, daß sie aber

während der Rotation des Elektromagneten *CD* ohne Hinderniß über die Scheidewände der beiden Abtheilungen hinweggehen.

Bei der in Fig. 169 abgebildeten Stellung des Elektromagneten *CD* geht nun, wenn in *c* der positive und *d* der negative Poldraht eines kräftigen galvanischen Elementes eingeschraubt wird, der positive Strom von *c* in die linke Abtheilung der Rinne, von da durch den Kupferdraht um das bewegliche Hufeisen herum von *D* nach *C*, von *C* aus in die rechte Abtheilung der Rinne und von dieser nach *d*. Bei dieser Stellung wird der Pol *C* von *A*, und *D* von *B* angezogen, wodurch eine rotirende Bewegung des Elektromagneten *CD* eingeleitet wird. Wenn aber nun *C* eben bei *A* und *D* bei *B* ankommt, so gehen die beiden Drahtenden des inneren Elektromagneten über die Scheidewände hinweg; der Strom, welcher *CD* magnetisch macht, wird für einen Moment unterbrochen, sobald aber die Drahtenden aus einer Abtheilung in die andere übergegangen sind, geht der Strom durch den um *CD* gewundenen Kupferdraht in entgegengesetzter Richtung hindurch, der Pol *C* wird nun von *A*, *D* von *B* abgestoßen, während sich *C* und *B*, *D* und *A* anziehen, dadurch wird die Rotation des inneren Elektromagneten fortgesetzt, bis *C* bei *B* und *D* bei *A* ankommt, wo alsdann durch eine abermalige Umkehrung der Pole des inneren Elektromagneten die Rotation desselben in unveränderter Richtung fortgesetzt wird.

An der Umdrehungsaxe des inneren Elektromagneten ist ein Zahnrad befestigt, welches in ein zweites von größerem Halbmesser eingreift. Um die Axe dieses zweiten Zahnrades ist nun eine Schnur geschlungen, die über eine Rolle weggeht, und an der endlich ein Gewicht hängt, welches durch die Rotation des inneren Elektromagneten gehoben wird.

Dieser Apparat ist eigentlich nur eine Vervollkommnung des von Ritchie construirten Rotationsapparates, bei welchem ein Stahlmagnet die Stelle des äußeren Elektromagneten ersetzt, während das rotirende Eisen die Form eines geraden Stabes hat, welcher mit einer Drahtwindung umgeben ist, deren Enden in eine Quecksilberrinne eintauchen, wie in unserm Apparate, und dessen Rotation ebenfalls durch die nach jeder halben Umdrehung erfolgende Umkehrung der Pole unterhalten wird.

Die bis jetzt namentlich von Jacobi in Petersburg und von Wagner in Frankfurt gemachten Versuche, um den galvanischen Strom praktisch als bewegende Kraft anzuwenden, haben bis jetzt die gewünschten Resultate nicht geliefert.

Elektrische Telegraphen. Eine andere praktische Anwendung, 87
welche man von der schnellen Verbreitung elektrischer Ströme durch isolirte Metalldrähte und der Magnetisirung des Eisens durch elektrische Ströme gemacht hat, sind die elektrischen Telegraphen. Mehrere Physiker

in Deutschland, besonders Steinheil, haben verschiedene höchst sinnreiche Vorrichtungen der Art in Vorschlag gebracht und ausgeführt, wir wollen uns hier jedoch darauf beschränken, den für die Demonstration wenigstens ziemlich einfachen elektrischen Telegraphen Wheatstone's zu beschreiben.

Auf einem Brettchen Fig. 170. sind zwei hufeisenförmig gebogene Stücke von weichem Eisen befestigt, welche mit einem durch Seide isolirten Kupferdraht in der Weise umwunden sind, daß sie magnetisch werden, sobald ein galvanischer Strom diese Windungen durchläuft, daß sie aber augenblicklich ihren Magnetismus verlieren, sobald der Strom unterbrochen wird.

Das eine Ende des Drahtes, welcher um das links gelegene Hufeisen gewunden ist, geht unter dem Brettchen her zu dem Messingsäulchen *a*, das andere Ende zum Säulchen *b*.

In *a* sowohl als in *b* ist nun ein Draht eingeschraubt; diese Drähte führen zu dem oft Stunden weit entfernten Orte, an welchem sich eine galvanische Kette befindet. Bringt man den in *a* eingeschraubten Leitungsdraht mit dem positiven, den in *b* eingeschraubten Draht mit dem negativen Pole jener galvanischen Kette in Berührung, so wird das Hufeisen sogleich magnetisch; man braucht nur die Berührung des einen dieser Drähte mit dem einen Pol der Kette abwechselnd herzustellen und zu unterbrechen, um den Magnetismus im Hufeisen abwechselnd zu erzeugen und wieder zu vernichten.

Von dem Orte, an welchem die galvanische Säule aufgestellt ist, geht aber ein dritter Draht aus, welcher zum Messingsäulchen *c* führt; nach *b* und *c* laufen aber unter dem Brette her die Enden der Drahtwindungen, welche um das rechtsgelegene Hufeisen herumgehen; dieses kann also ebenfalls durch eine ganz entfernt bei der galvanischen Kette befindliche Person abwechselnd magnetisch und unmagnetisch gemacht werden.

Dicht vor den Polen des Hufeisens auf der rechten Seite ist nun eine Eisenplatte angebracht, welche an ihrem untern Ende um zwei Zapfen, wie eine Thür um die Angel, beweglich ist; an dieser Eisenplatte ist ein in die Höhe gehender Stab befestigt, welcher oben den horizontalen Querstab *d* trägt.

Sobald das Hufeisen magnetisch wird, wird die Eisenplatte angezogen, sobald aber der magnetische Zustand des Hufeisens wieder aufhört, wird die Eisenplatte durch eine schwache Feder, welche gegen den aufwärts gehenden Stab drückt, wieder von den Polen des Hufeisens entfernt.

Durch eine abwechselnde Unterbrechung und Wiederherstellung des um das Hufeisen herumgeleiteten Stromes wird also der horizontale Querstab *d* hin- und herbewegt. An jedem Ende dieses Querstabs befindet sich nun eine kleine Kugel, welche bei jedem Hin- und Hergang an ein Glöckchen anschlagen, welches unsere Figur deutlich zeigt.

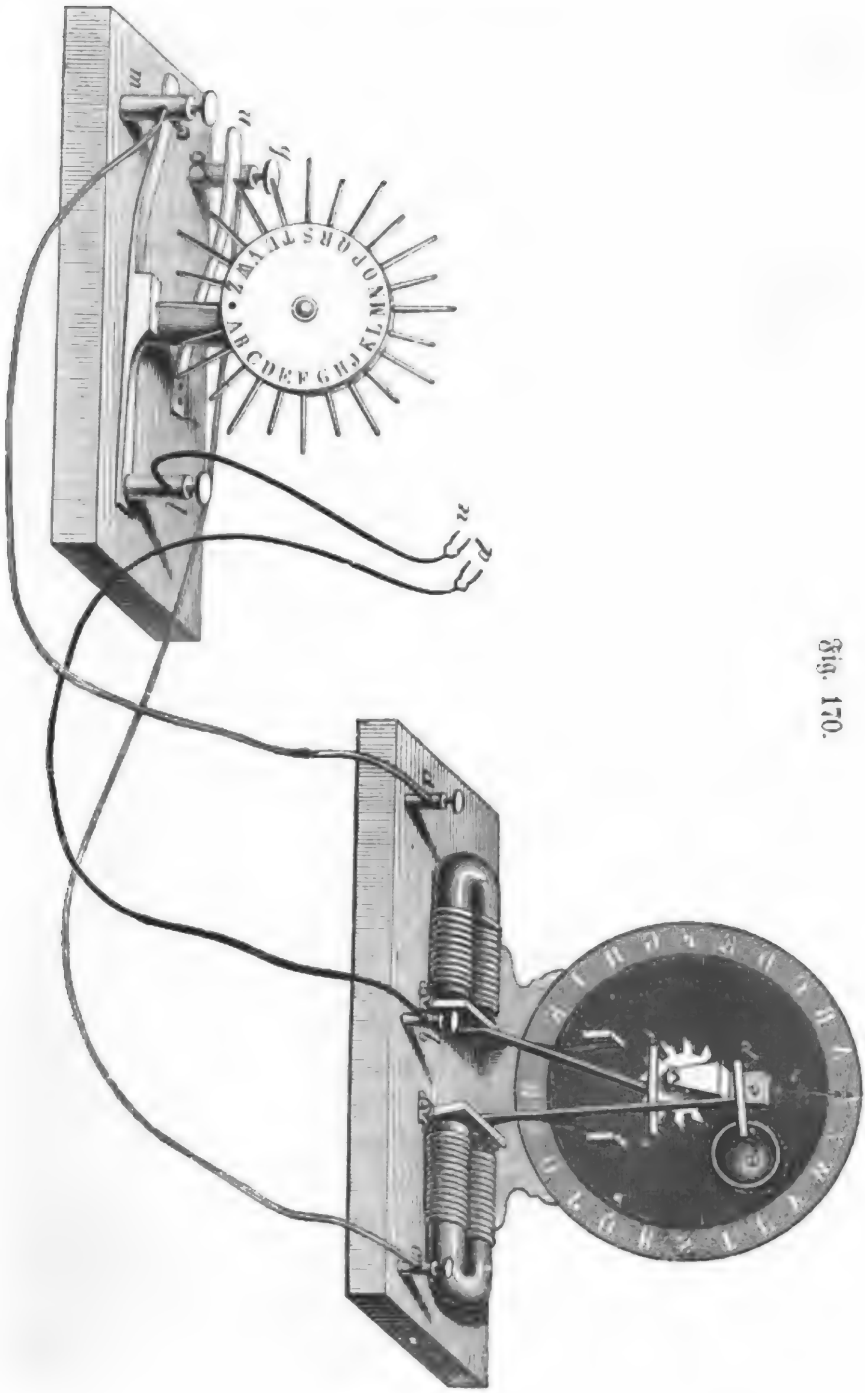


Fig. 170.

Wenn die an der Volta'schen Kette stehende Person den Strom abwechselnd herstellt und unterbricht, so ist sie also im Stande, dadurch Signale an dem weit entfernten Glöckchen zu geben.

Dem andern Hufeisen gegenüber ist eine ähnliche Eisenplatte mit einem Stabe befestigt, welcher den Querstab *rs* trägt. An jedem Ende desselben ist ein Stäbchen angebracht; bei dem Hin- und Hergange der Eisenplatte greift nun abwechselnd das eine und das andere Stäbchen in die Zähne eines Rades ein, und zwar ist die Einrichtung so getroffen, daß bei jedem Hin- und Hergang das Rad um 1 Zahn weiter geschoben wird. Das Rad hat 12 Zähne.

Wenn also die Person an dem Volta'schen Apparat die Kette durch die nach *b* und *a* gehenden Drähte schließt, so wird das Zahnrad um ½ Zahn weiter geschoben, bei der Oeffnung der Kette abermals um ½ Zahn u. s. w.; jede Schließung der Kette schiebt das Rad um ½ Zahn und jede Oeffnung der Kette abermals um ½ Zahn weiter.

Die Axe unsers Zahnrades geht nun durch den Mittelpunkt einer Scheibe von Eisenblech, an welcher auch das Glöckchen befestigt ist. Wir sehen in unserer Figur diese Scheibe von der hinteren Seite. Auf dem Rande dieser Scheibe, und zwar auf der vorderen uns abgewendeten Seite, sind nun 24 Zeichen, ein Punkt und 23 Buchstaben des Alphabets (*x* und *y* fehlen) in gleichen Abständen angebracht. Unsere Figur zeigt diese Buchstaben so, wie man sie sehen würde, wenn der Rand der Scheibe durchsichtig wäre.

Die durch den Mittelpunkt der Scheibe gehende Axe, um welche sich das Zahnrad dreht, trägt an der vordern Seite der Scheibe einen Zeiger, welcher durch die Fortschiebung des Zahnrades ebenfalls fortgeschoben wird; und zwar wird dieser Zeiger bei jeder Schließung der Kette um einen, und bei jedem Oeffnen derselben abermals um einen Buchstaben weiter geschoben.

Wenn der Zeiger auf . gestellt ist, so wird er bei dem ersten Schließen der Kette auf *A* springen, bei der folgenden Oeffnung der Kette aber springt er auf *B*, bei einer abermaligen Schließung auf *C* u. s. w. Durch abwechselnde Schließung und Unterbrechung der Kette kann also die an dem Volta'schen Apparat stehende Person den Zeiger bis zu jedem beliebigen Buchstaben springen lassen, alsdann mit dem Glöckchen ein Zeichen geben und so fort jedes beliebige Wort buchstabiren.

Hierbei wäre aber sehr leicht ein Irrthum möglich; wenn sich die signalisirende Person im Zählen der Schließungen und Unterbrechungen irrt, so steht der Zeiger auf einem andern als dem beabsichtigten Buchstaben.

Um solche Irrthümer zu vermeiden, ist dicht bei der Volta'schen Kette noch ein Apparat eingeschaltet, welchen der Strom durchlaufen muß, und welcher dazu dient, die Schließungen und Unterbrechungen der Kette gehörig zu reguliren.

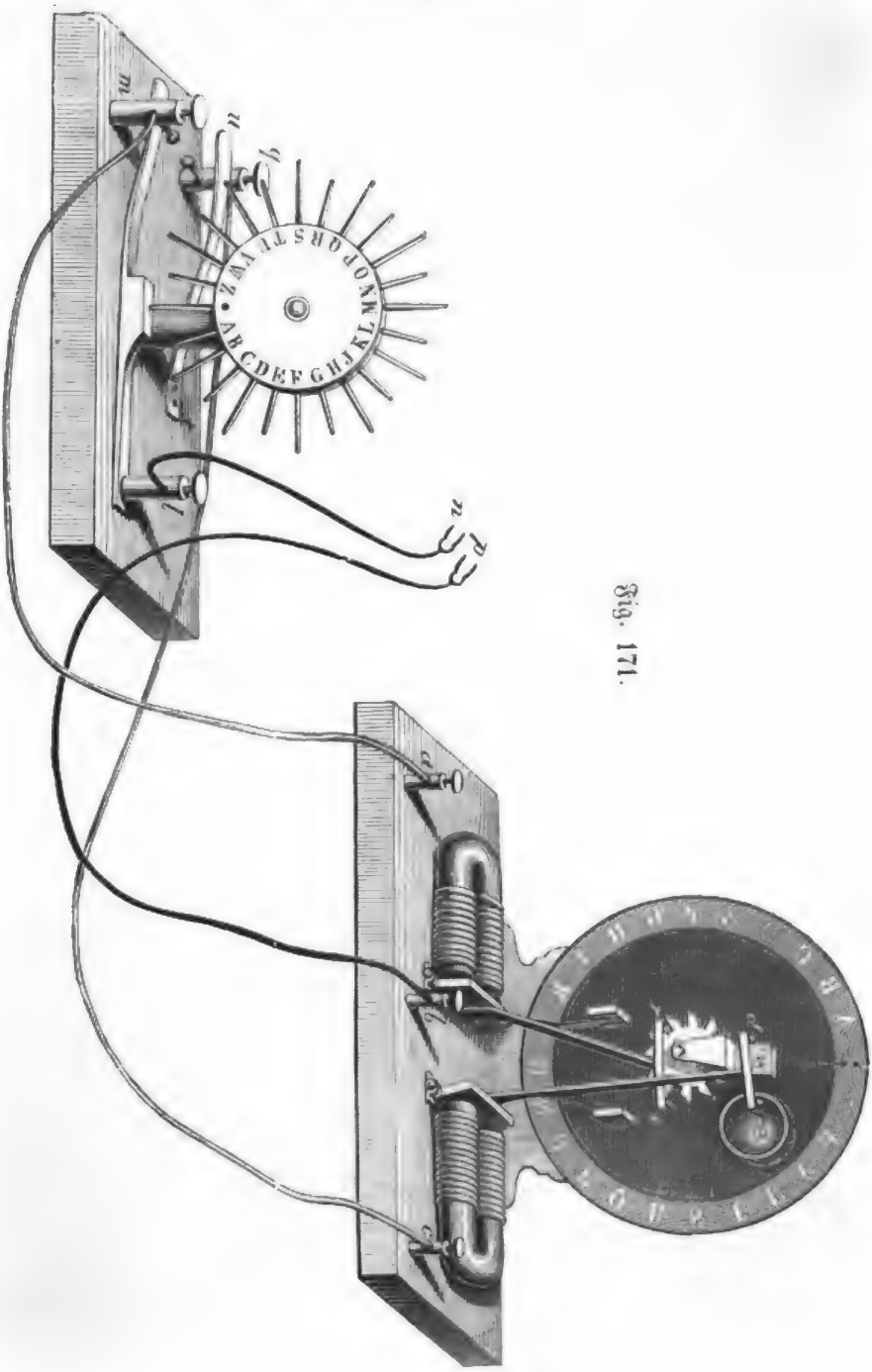


Fig. 171.

Dieſer Apparat iſt in Fig. 170 unten links dargeſtellt; *p* und *n* ſind die beiden Pole der Volta'ſchen Kette, von *p* geht ein überſponnener Kupferdraht direkt zu dem Meſſingſäulchen *b* des Apparates, an welchem die buchſtabirten Worte abgeleſen werden. Dieſer Draht iſt in unſerer Figur ganz ſchwarz. Vom negativen Pol der Kette geht ein kurzer Draht zum Säulchen *l* des Regulirungsapparates. An dieſem Apparat befinden ſich nun noch zwei andere Säulchen *m* und *q*. In *m* wird der von *a*, in *q* wird der von *c* kommende Kupferdraht eingeſchraubt.

Durch einen unter dem Brettchen herlaufenden Draht iſt *l* mit der Meſſingfeder *tu* in leitender Verbindung. Wird dieſe Feder niedergedrückt, ſo kommt ſie mit einem aus dem Säulchen *q* hervorragenden Knöpfchen in Berührung, der Strom geht dann von *p* nach *b*, von *b* um das rechtsliegende Hufeiſen herum nach *c*, von *c* nach *q*, von *q* durch die Feder nach *l*, von *l* nach *n*. Läßt man die Feder *tu* gehen, ſo iſt der Strom unterbrochen.

Von dem Säulchen *l* geht nun auch eine Meſſingfeder aus, welche, wenn ſie nicht niedergedrückt iſt, einen am Säulchen *m* hervorragenden Knopf berührt. Iſt dies der Fall, ſo iſt die Kette geſchloſſen, der Strom geht vom poſitiven Pol durch den ſchwarzen Draht nach *b*, von da um das links liegende Hufeiſen herum nach *a*, von *a* nach *m*, von *m* durch die Meſſingfeder nach *l*, und von *l* endlich nach dem negativen Pol *n* der Kette.

Durch Niederdrücken der erwähnten Meſſingfeder wird dieſer Strom unterbrochen.

In der Mitte über der von *l* nach *m* gehenden Meſſingfeder befindet ſich eine um eine horizontale Axe drehbare Scheibe, an deren Rande 24 abwechſelnd lange und kurze Stäbchen angebracht ſind. Eines der langen Stäbchen iſt durch . bezeichnet, die anderen durch Buchſtaben, und zwar ſind die mit *A, C, E, G, I* u. ſ. w. bezeichneten Speichen kurz, die mit *B, D, F, H, K* u. ſ. w. bezeichneten Speichen aber lang.

Wenn die Scheibe ſo geſtellt iſt, daß eine lange Speiche vertikal nach unten gekehrt iſt, ſo drückt dieſelbe ſo auf die Meſſingfeder, daß ſie niedergehalten und dadurch der Strom, welcher um das links liegende Hufeiſen herumgeht, unterbrochen iſt.

Unſere Figuren zeigen den Apparat, wie er hergerichtet ſeyn muß, wenn das Signaliſiren beginnen ſoll. Die Kette iſt an keiner Stelle geſchloſſen.

Zuerſt wird nun durch Niederdrücken der Feder *tu* ein Signal mit dem Glöckchen gegeben, um die an der andern Station ſich befindende Perſon aufmerkſam zu machen. Alsdann wird die Scheibe ſo gedreht, daß zunächſt die Speiche *A* vertikal nach unten geht; da ſie kurz iſt, ſo iſt die Folge davon, daß die von *l* nach *m* gehende Feder in die Höhe geht, wo-

durch die Kette geschlossen wird, wobei dann der Zeiger von . auf *A* springt. Dreht man die Scheibe weiter, so daß die lange Speiche *B* gerade nach unten gerichtet ist, so wird die Kette wieder unterbrochen, der Zeiger springt auf *B*. Durch Drehen der Scheibe kann man also den Zeiger auf jeden beliebigen Buchstaben bringen, der Zeiger steht immer auf dem Buchstaben, welcher die vertikal nach unten gerichtete Speiche bezeichnet.

Hat man den Zeiger auf den beabsichtigten Buchstaben gebracht, so wird durch Niederdrücken der Feder *tu* ein Zeichen mit der Glocke gegeben; darauf wird die andere Feder mit der Hand ganz niedergedrückt, um die Scheibe bequem auf den Nullpunkt zurückstellen zu können. Ist dies geschehen, so wird der Beobachter davon durch ein abermaliges Zeichen mit dem Glöckchen benachrichtigt, worauf er dann den Zeiger auch auf . zurückzustellen hat. Nun ist der Apparat wieder zu Signalisirung eines zweiten Buchstaben vorbereitet.

Gesetze der magnetisirenden Wirkungen des elektrischen Stro- 88
mes Die Gesetze, nach welchen die Stärke des im weichen Eisen durch den elektrischen Strom erregten Magnetismus von den einzelnen hier in Betracht kommenden Elementen, der Stärke des Stromes, der Dicke und Leitungsfähigkeit des Drahtes, der Weite der Windungen u. s. w. abhängt, sind von Jakobi und Lenz auf experimentalem Wege untersucht worden. Wir können hier nur die Resultate ihrer trefflichen Arbeiten anführen, weil die Methode, nach welcher sie diese Gesetze ermittelten, ohne Kenntniß der Inductionserscheinungen, welche erst weiter unten besprochen werden, nicht verstanden werden kann. Die erwähnten Gesetze sind folgende:

1) Die Größe des Magnetismus ist bei übrigens gleichen Umständen den angewandten Strömen proportional, d. h. wenn man um ein weiches Eisen einen Spiraldraht herumführt und durch denselben der Reihe nach verschieden starke Ströme leitet, so wird die Stärke des Magnetismus im Eisen der Stärke dieses Stromes proportional seyn; hätte man also etwa eine Tangentenbousole in den Schließungskreis eingeschaltet, so wird die Stärke des Magnetismus im Eisen der Tangente des beobachteten Ablenkungswinkels an der Bousole proportional seyn. Ein solches Resultat ließ sich wohl erwarten; wenn der Strom auf einen schon gebildeten Magnete eine doppelte, dreifache Wirkung hervorbringt, so wird er auch auf weiches Eisen eine zweimal, dreimal u. s. w. größere magnetisirende Wirkung ausüben können.

2) Die Dicke des Spinaldrahtes hat keinen Einfluß auf die Stärke des erregten Magnetismus, wenn nur die Stärke des Stromes unverändert bleibt, d. h. wenn man um ein weiches Eisen durch einen dicken Draht einen elektrischen Strom leitet, welcher in einer eingeschalteten Tangentenbousole

einen bestimmten Ausschlag giebt, so wird der Magnetismus im Eisen gerade ebenso stark, als ob man ebenso viele und eben solche Windungen von dünnem Draht um das Eisen herumgewunden und durch diese Spirale einen Strom geleitet hätte, welcher an der eingeschalteten Tangentenbousole denselben Ausschlag giebt. Freilich muß man, um durch den dünneren Draht bei gleicher Länge des Schließungsbogens einen Strom von gleicher Stärke hindurchzutreiben, einer Volta'schen Kette von mehr Elementen anwenden, als bei dem dickeren Drahte, oder bei gleichen Ketten muß für den dünneren Draht die Länge des Schließungsbogens verkürzt werden.

3) Die Weite der Windungen hat, wenn das Eisen weit genug aus denselben hervorragt, keinen Einfluß auf die Stärke des Magnetismus; wenn man also auf die Mitte des Eisens einige Drahtwindungen unmittelbar aufwindet, wie Fig. 172, oder wenn man um dasselbe Eisen ebenso

Fig. 172.

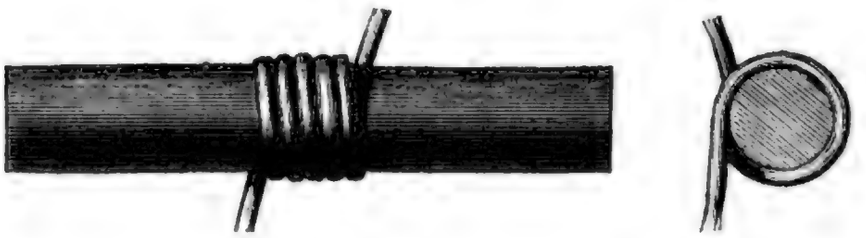
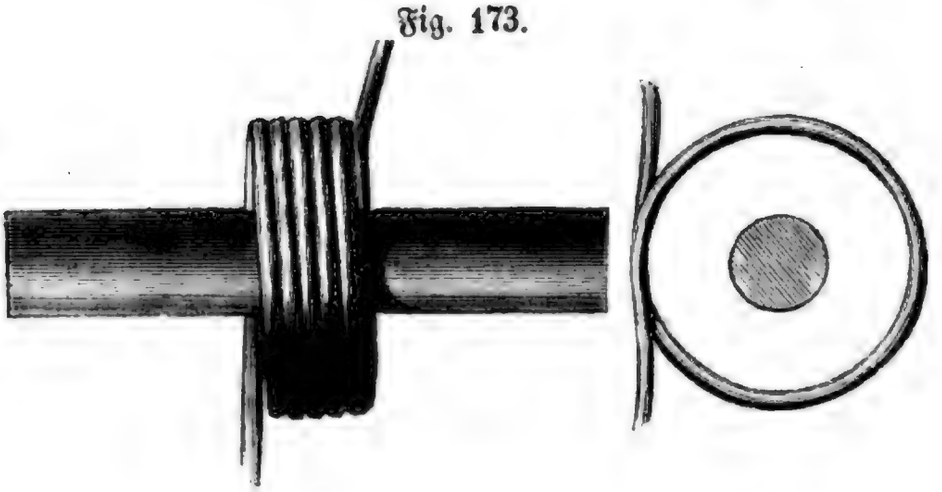


Fig. 173.



viel Windungen in größerer Entfernung hereinführt, wie Fig. 173, so wird in beiden Fällen das Eisen gleich stark magnetisch, wenn gleich starke Ströme durch die Windungen hindurchgehen; nur wenn das Eisen nicht aus den Windungen hervorragt, ist die Wirkung der engen Windungen etwas größer als die der weiteren.

4) Die Totalwirkung sämmtlicher Windungen ist der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen gleich.

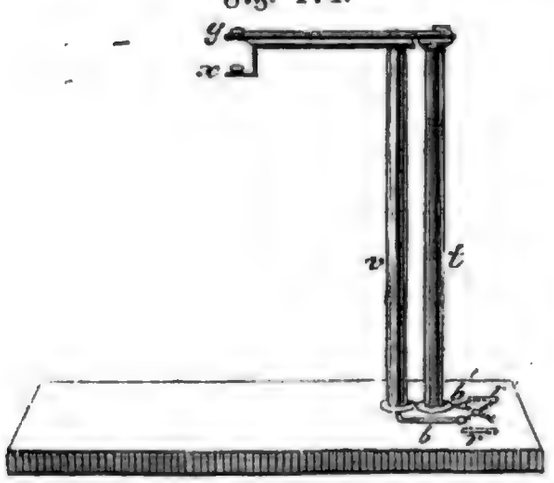
5) Der Magnetismus, den Eisenstäbe von gleicher Länge bei gleichen Strömen einnehmen, ist ihren Durchmessern proportional.

Aus den vorgetragenen Sätzen folgt, daß man mit irgend einem galvaniſchen Elemente beliebig ſtarke Magnete machen kann, wenn man nur die Dimenſionen vergrößert, denn man braucht ja nur dickere Eiſenſtäbe anzuwenden, man braucht nur bei doppeltem, dreifachen u. ſ. w. Querſchnitte des Drahtes doppelt, dreimal ſo viel Drahtwindungen um das Eiſen herum zu führen, um eine doppelte, dreifache u. ſ. w. Wirkung zu haben; denn wenn man durch zweimal, dreimal ſo viel Windungen die Länge des Schließungsdrahtes eben ſo vielmal vergrößert, ſo würde bei gleicher Drahtdicke die Stärke des Stromes geſchwächt und auf der einen Seite durch den ſchwächern Strom verloren gehen, was auf der andern Seite durch die größere Anzahl der Windungen gewonnen wurde; wenn man aber den Querſchnitt des Drahtes in demſelben Verhältniſſe vergrößert, in welchem die Länge des Schließungsdrahtes wächſt, ſo bleibt der Strom gleich ſtark, und die Wirkung wächſt alſo in dem Verhältniſſe, in welchem die Anzahl der Windungen wächſt.

Richtung der Ströme unter dem Einfluß des Erdmagnetismus. 89
Da der Strom eine Wirkung auf den Magneten hervorbringt, ſo konnte man nicht zweifeln, daß auch umgekehrt die Magnete eine gleiche Wirkung auf den Strom ausüben, ihn alſo auch zu richten und auf verſchiedene Weiſe zu bewegen im Stande iſt. Unter allen dieſen umgekehrten Erſcheinungen iſt die Einwirkung des Erdmagnetismus auf die Ströme am intereſſanteſten, und man hatte ſchon lange verſucht, bewegliche Ströme herzuſtellen, welche, ſich ſelbſt überlaſſen, alle Erſcheinungen der Nadel zeigen ſollten. Alle dieſe Verſuche aber mißlangen, weil man dem Strome die nöthige Beweglichkeit nicht geben konnte. Bald aber wurden alle dieſe Schwierigkeiten von Ampère durch eine ſinnreiche Aufhängung überwunden, die ſich auf alle Ströme anwenden läßt.

Fig. 174 ſtellt zwei vertikale Säulen von Meſſing dar, welche auf einem Fuße von Holz befeſtigt ſind; oben tragen ſie horizontale Arme, die mit den Queckſilbernäpfchen x und y endigen, deren Mittelpunkte genau vertikal unter einander ſtehen. Da, wo ſich die horizontalen Arme zu berühren ſcheinen, ſind ſie durch iſolirende Subſtanzen getrennt, wenn alſo die Füße der Säulen mit den beiden Polen der Kette in Verbindung geſetzt werden, ſo gelangt eine der electriſchen Flüſſigkeiten zum Näpfchen x, die anderere nach y.

Fig. 174.

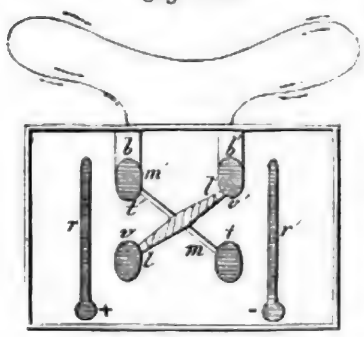


Eins dieſer Näpfchen kann man das *poſitive*, das andere das *negative* nennen.

Nichts ſcheint leichter, als die Elektricitäten zum Fuße der Säulen zu leiten; weil es jedoch oft nöthig iſt, die Verbindungen raſch aufzuheben und in entgegengeſetzter Weiſe wieder herzuſtellen, ohne den Apparat zu ſtören, ſo hat *Ampère* eine ſinnreiche Vorrichtung erſonnen, welche ihren Zweck auf eine ſehr bequeme Weiſe erfüllt.

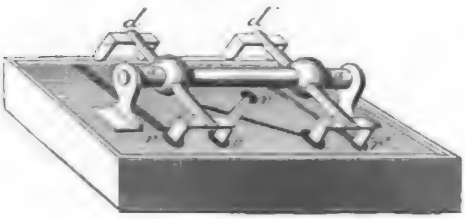
r r' ſind zwei Rinnen, welche einige Linien tief aus einem Brette ausgehöhlt ſind, welches man auf den Fuß der verſchiedenen elektromagnetiſchen Apparate ſtellen kann. *v* und *v'*, *t* und *t'* ſind vier Höhlungen, welche diagonal durch Kupferſtreifen mit einander verbunden ſind, nämlich *v* und *v'* durch *l l'*, *t* und *t'* durch *m m'*; am Kreuzungspunkte ſind die Streifen durch einen nichtleitenden Körper getrennt. Die Rinnen und Löcher ſind gehörig gefirnißt, damit das Holz die Elektricität nicht ableite, und mit Queckſilber gefüllt.

Fig. 175.



Taucht nun der poſitive Poldraht in die Rinne *r*, der negative in die Rinne *r'*, ſo kann die Elektricität in keines der vier Löcher übergehen; wenn man aber eine Verbindung zwiſchen *r* und *v* und eine andere Verbindung zwiſchen *r'* und *t* herſtellt, ſo verbreitet ſich die Elektricität weiter von *v* nach *v'*, von *t* nach *t'*; der Metallſtreifen *b'* alſo, welcher mit *v'* in Verbindung iſt, wird poſitiv, der Streifen *b* aber, welcher mit *t'* in leitender Verbindung ſteht, wird negativ. Stellt man aber eine leitende Verbindung zwiſchen *r* und *t'* und zwiſchen *r'* und *v'* her, ſo wird *b'* negativ, *b* poſitiv. Sind nun die Streifen *b* und *b'* durch einen Metallbogen verbunden, ſo wird der poſitive Strom entweder von *b'* nach *b*, oder umgekehrt von *b* nach *b'* gehen, je nachdem die eine oder die andere der eben beſprochenen Verbindungsweiſen hergeſtellt wird. Wirft man nun einen Blick auf den *Schwengel*, Fig. 176, ſo überſieht man leicht den Mechanismus, von dem noch zu reden übrig iſt. Dieſes Stück iſt von Holz, läßt ſich um die Are *a a'* drehen und trägt 4 metallene Leitungsbogen, *c* und *c'*, *d* und *d'*. Wie es eben die Figur zeigt, iſt *r* und *v* durch den Bogen *c* verbunden, *t* und

Fig. 176.



r durch den Bogen c'; die Metallbogen d und d' ſind bei dieſer Stellung in die Höhe gehalten. Werden aber die vorderen Hebelarme aufgezogen, die hinteren niedergedrückt, ſo kommen die Bügel c und c' aus den Vertiefungen r, v, t und r' heraus, hier iſt alſo die Verbindung unterbrochen, auf der andern Seite aber wird r mit t' durch d und r' mit v' durch d' in leitende Verbindung gebracht.

Dieſer Apparat iſt, wie man Fig. 174 ſieht, am Fuße der beiden Säulen v und t angebracht, nur iſt der Deutlichkeit wegen in dieſer Figur der bewegliche Theil weggeblieben. Man ſieht, daß jeder der Streifen b und b' der Fig. 174 zu dem Fuße einer Säule führt. Je nachdem man alſo dem Schwengel die eine oder die andere Stellung giebt, wird das Näpfchen x entweder poſitiv oder negativ.

Dieſer Apparat iſt unter dem Namen des Gyrotrops bekannt.

Dies Alles vorausgeſetzt, wollen wir nun den kreisförmigen Kupferdraht, Fig. 177, unterſuchen. Da, wo ſich die beiden Drahtenden zu berühren ſcheinen, ſind ſie durch eine iſolirende Subſtanz getrennt; ſie ſind oben umgebogen und mit Stahlſpitzen verſehen, die in die Näpfchen x und y, Fig. 174, eingetaucht werden. Die eine Spitze geht bis auf den Boden des Näpfchens und ruht hier auf einer kleinen Glasplatte, die andere Spitze taucht nur in das Queckſilber ein. Durch dieſe Aufhängung iſt der Draht ungemein leicht beweglich.

Fig. 177.

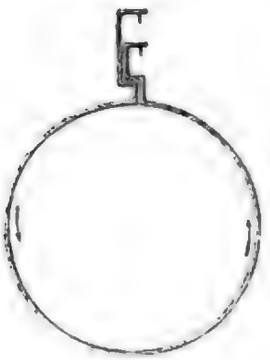
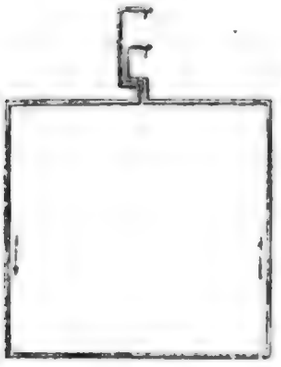


Fig. 178.



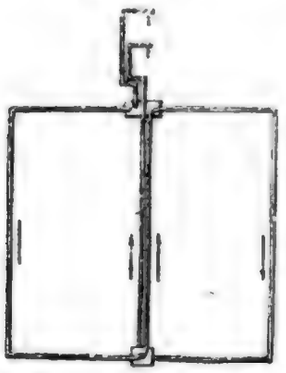
Läßt man nun einen Strom hindurchgehen, ſo dreht ſich der Draht, um nach einigen Oscillationen in einer beſtimmten Lage ſtehen zu bleiben, in die er auch ſtets wieder zurückkehrt, wenn man ihn daraus entfernt. Kehrt man den Strom mit Hülfe des Gyrotrops um, ſo macht der Kreis eine halbe Umdrehung und kommt alsdann wieder zur Ruhe. In beiden Gleichgewichtslagen ſteht der Kreis ſo, daß ſeine Ebene mit der des magnetiſchen Meridians einen rechten Winkel macht. Ein ſtabiles Gleichgewicht findet Statt, wenn in der untern Hälfte des Kreiſes der poſitive Strom von Oſten nach Weſten geht.

Wendet man ſtatt des kreisförmigen Drahtes einen rechtwinklig gebogenen an, wie Fig. 178, oder giebt man ihm irgend eine andere Geſtalt, ſo bleiben die Reſultate doch ſtets dieſelben.

Wenn ſich die Wirkung der Erde ſelbſt neutraliſiren ſoll, ſo muß man einen Draht in der Weiſe zurichten, daß er zu beiden Seiten der Umdre-

hungsaxe symmetrisch ist und von dem Strome in derselben Richtung durchlaufen wird, wie dies bei dem Drahte Fig. 179 der Fall ist. Ein solches Rechteck hat gar keine richtende Kraft. Der Grund davon ist leicht einzusehen; der Strom der einen Seite hebt die Wirkungen des Stromes der andern Seite auf.

Fig. 179



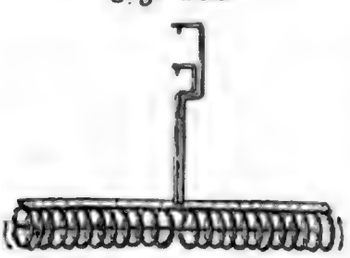
De La Rive hat mehrere recht sinnreiche Apparate angegeben, welche dazu dienen, zu zeigen, wie selbst schwache Ströme durch Magnete, ja schon durch den Erdmagnetismus gerichtet werden können. Diese kleinen Apparate sind schwimmende Ströme, deren Gestalt man nach Belieben ändern kann; sie sind Fig. 180 und Fig. 181 dargestellt. In einem Stücke Kork, welches auf gesäuertem Wasser schwimmt, ist ein Stück Zink, z, und ein Stück Kupfer befestigt, und beide sind durch einen Kupferdraht verbunden; dieser Draht ist entweder kreisförmig, wie Fig. 180, oder man kann ihm verschiedene Windungen geben, etwa wie Fig. 181. Auf das Wasser gesetzt, bildet sich ein Strom, der vom Zink im Wasser zum Kupfer und dann durch den Draht in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung hindurchgeht. Dieser Strom ist nun schon stark genug, um durch den Erdmagnetismus gerichtet zu werden, noch mehr wird er also durch einen Magneten gerichtet, angezogen und abgestoßen.

Fig. 180.

Fig. 181.

Weil sich ein geschlossener kreisförmiger Strom, welcher um eine vertikale Axe drehbar ist, rechtwinklig zum magnetischen Meridian stellt, so folgt, daß eine Verbindung unter sich paralleler Kreise, die in derselben Richtung durchströmt werden, sich ebenso stellen muß. So muß sich denn auch der Schraubendraht, Fig. 182, an dem Ampère'schen Stativ aufgehängt und von einem Strome durchlaufen, so stellen, daß die Axe des Schraubendrahtes in die Richtung der Declinationsnadel fällt.

Fig. 182.



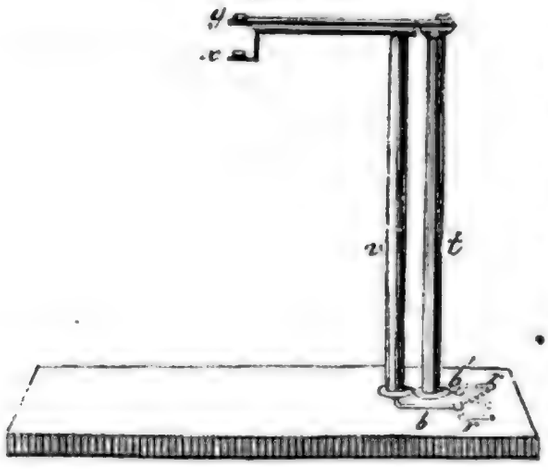
Es geht daraus nicht allein hervor, daß auf diese Weise die Declinationsnadel durch einen Schraubendraht nachgeahmt werden kann, sondern auch, daß der Südpol, d. h. der nach Norden gerichtete, derjenige ist, für welchen der aufsteigende Strom auf der rechten Seite liegt, wenn

man ihn von ſeiner Seite her betrachtet. Sieht man den Schraubendraht von *a* aus an, ſo hat man in der That den aufſteigenden Strom zur Rechten, den niederſteigenden zur Linken; betrachtet man aber den Schraubendraht in der Richtung von *b* her, ſo hat man den aufſteigenden Strom zur Linken; *a* iſt alſo der Südpol und muß ſich nach Norden richten. Ebenſo kann man auch ſagen, daß, wenn ſich eine Declinationsnadel in die Gleichgewichtslage geſtellt hat, der untere Strom von Oſten nach Weſten geht.

Das Brettchen, welches den verſchiedenen Windungen des Schraubendrahtes Fig. 182 zur Befeſtigung dient, beſteht aus einer nichtleitenden Subſtanz.

Wenn man den Schraubendrähten, welche wir ſo eben betrachtet haben, einen Magnetſtab nähert, ſo kann man ganz ähnliche Erſcheinungen beobachten, als ob man den Magnetſtab einer Declinationsnadel näherte. Ueberhaupt werden natürlicher Weiſe alle bisher betrachteten Apparate auch durch Magnetſtäbe afficirt werden. Will man aber den Einfluß des Stabes ganz rein, d. h. ganz ohne Einwirkung des Erdmagnetismus haben, ſo muß man ſolche Apparate anwenden, in welchen ſich die Wirkung des Erdmagnetismus von ſelbſt aufhebt, z. B. das doppelte Rechteck, Fig. 179, wenn es an dem Apparate Fig. 183 aufgehängt iſt. Das Rechteck bleibt in allen Lagen im Gleichgewichte; wenn man ihm aber den einen Pol eines Magneten nähert, ſo wird es bald angezogen, bald abgeſtoßen. Wenn man den Verſuch macht, ſo iſt man überraſcht, einmal Anziehung, dann wieder Abſtoßung wahrzunehmen, während man die Stellung des Magneten kaum verändert hat. Wenn man den einen Pol nur etwas rechts oder links bewegt, wenn man ihn nur etwas nähert oder entfernt, ſo bemerkt man oft ſogleich eine Umkehrung der Wirkung. Alle dieſe Erſcheinungen, welche dem Anſehen nach ſo verwickelt ſind, laſſen ſich nach dem in Nro. 73 angedeuteten allgemeinen Principe ſehr leicht erklären.

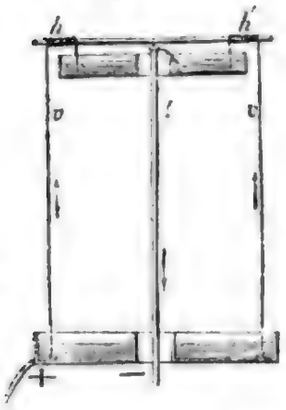
Fig. 183.



Um ſich von der Wirkung der Erde auf Ströme genügend Rechenſchaft geben zu können, muß man die Wirkung auf vertikale und auf horizontale Ströme beſonders unterſuchen. Für vertikale Ströme kann man ſich

des Fig. 184 dargestellten Apparates bedienen. Er besteht aus zwei cylindrischen Gefäßen von Kupfer; der Durchmesser des untern ist etwas größer als der des obern. In der Mitte haben beide Gefäße eine cylindrische Oeffnung, durch welche ein Stab *t* hindurchgeht, der oben mit einem Queckſilbernäpfchen endigt. Das Querstäbchen *h h'* ist aus einer nichtleitenden Substanz verfertigt und hat in der Mitte eine Spitze, mittelst welcher es auf dem Boden des Schälchens aufsitzt und sehr leicht drehbar ist. Das untere Gefäß sowohl wie das obere sind mit gesäuertem Wasser angefüllt. Die Drähte *v* und *v'* sind mit ihrem untern Ende in die Flüssigkeit des untern Gefäßes eingetaucht; oben ist jeder Draht mit einigen Windungen an dem Querstabe *h h'* befestigt und ragt dann in das saure Wasser des obern Gefäßes herab. Das untere Gefäß ist durch einen Draht mit dem einen, der Stab *t* mit dem andern Pole der Kette in Verbindung gesetzt; tritt also der positive Strom in das untere Gefäß, so steigt er von da durch die Drähte *v* und *v'* in die Höhe, tritt dann in das saure Wasser des obern Gefäßes, von da durch einen Draht in das Näpfchen, um endlich durch den Stab *t* wieder hinabzugehen.

Fig. 184.



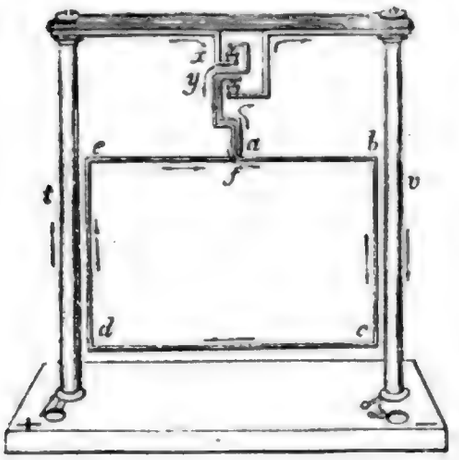
Nimmt man das obere oder untere Ende eines der beiden Drähte *v* oder *v'* aus dem sauren Wasser des obern oder untern Gefäßes, so kann der Strom nur durch einen Draht hinaufsteigen. In diesem Falle stellt sich das System so, daß seine Ebene auf der des magnetischen Meridians rechtwinklig und daß, bei aufsteigendem Strome, der Draht, den er durchläuft, westlich vom Stabe *t* steht. Circulirt der Strom in entgegengesetzter Richtung, so stellt sich der Draht, indem er niedersteigt, auf die Ostseite.

Wenn beide Drähte oben und unten eingetaucht sind, wie es die Figur zeigt, so hat das System keine richtende Kraft mehr, es befindet sich in jeder Lage im Gleichgewichte, denn auf jeden Draht wirkt eine Kraft, die der auf den andern wirkenden gleich und entgegengesetzt ist.

90 **Gegenseitige Wirkung galvanischer Ströme auf einander.** Die gegenseitige Wirkung, welche Ströme auf einander ausüben, wurde von Ampère entdeckt, und fast Alles, was man darüber weiß, verdankt man seinen Untersuchungen. Wenn es auch nicht möglich ist, in ein Lehrbuch die ganze Ampère'sche Theorie aufzunehmen, so werden wir doch die wichtigsten Versuche anführen, auf welche sie sich stützt, und die Grundsätze derselben mittheilen.

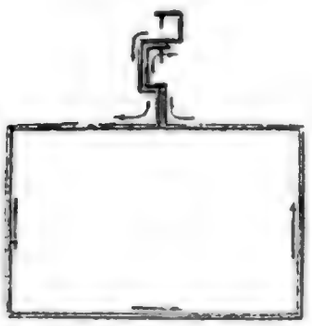
Zwei parallele Ströme üben immer eine Wirkung auf einander aus, welche mehr oder weniger lebhaft iſt, je nach ihrer Entfernung, ihrer Intenſität und ihrer Länge. Betrachtet man nun die Richtung der hervorgebrachten Bewegung, ſo iſt dieſe folgendem einfachen Geſetze unterworfen: Zwei parallele Ströme ziehen ſich an, wenn ſie ſich in gleicher Richtung bewegen, ſie ſtoßen ſich aber ab, wenn ihre Richtung entgegengeſetzt iſt.

Fig. 185.



Das Geſagte läßt ſich durch folgenden Apparat nachweiſen: *abcdef* iſt ein Rechteck von Kupferdraht, welches in den Queckſilbernäpfchen *x* und *y* aufgehängt iſt. Der Strom ſteigt durch die Säule *t* auf, durchläuft das Rechteck in der Richtung der Pfeile und ſteigt in der Säule *v* herab. Der Strom in der Säule *t* hat mit dem in dem Drahtſtücke *d e* gleiche Richtung; ebenſo verhält es ſich mit dem Strome in *b c* und *v*. Bringt man nun das Rechteck aus der in der Fig. 185 dargeſtellten Lage heraus, ſo kehrt es immer wieder in dieſelbe zurück, weil *d e* von *t* und *b c* von *v* angezogen wird.

Fig. 186.



Setzt man das Rechteck Fig. 186 an die Stelle des in Fig. 184 aufgehängten, ſo hat der Strom im Drahte die entgegengeſetzte Richtung von dem in der zunächſt liegenden Säule, und man beobachtet eine Abſtoßung; parallele entgegengeſetzte Ströme ſtoßen ſich alſo ab.

F. 187. F. 188.

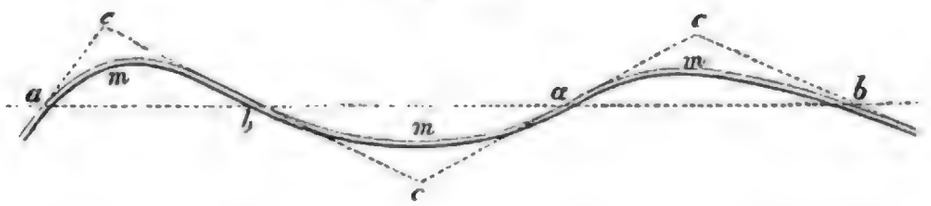
Wenn ein Draht umgebogen iſt, wie Fig. 187, ſo daß zwei parallele Ströme in entgegengeſetzter Richtung dicht neben einander herlaufen, ſo iſt ſeine Wirkung Null.

Die Wirkung eines krummlinigen Stromes iſt gleich der Wirkung eines geradlinigen, welcher die Länge von einem Endpunkte des krummen bis zum andern und gleiche Intenſität hat, vorausgeſetzt, daß die Wirkung auf eine Entfernung ausgeübt wird, welche ſehr groß iſt im Vergleich zu der Größe der Biegungen. Es läßt ſich dies mit Hülfe des Drahtes Fig. 188 nachweiſen. Der Draht muß mit Seide umwickelt ſeyn, damit an Stellen, wo die

Windungen etwa den geraden Strom berühren sollten, kein Uebergang des Stromes stattfinden kann. Wenn man nun durch den geraden Draht einen Strom aufsteigen läßt, welcher durch den gebogenen Theil wieder niedergeht, so übt dieses System gar keine Wirkung auf das Rechteck Fig. 185 aus, die Wirkungen des einen Stromes heben also die des andern auf.

Es geht daraus hervor, daß man einen krummlinigen Strom von geringer Ausdehnung immer durch seine Corde $a\,b$, Fig. 189, oder durch

Fig. 189.

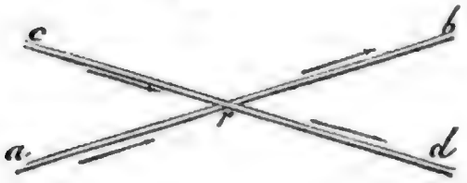


seine beiden Projectionen $a\,c$ und $b\,c$, welche irgend einen Winkel mit einander machen, ersetzen kann. Wenn der gebogene Draht Fig. 187 spiralförmig um den geraden herumgewunden gewesen wäre, so würde er doch noch dieselbe Wirkung auf das Rechteck hervorgebracht haben, d. h. die Wirkung des gerade aufsteigenden Stromes würde durch die Wirkung des spiralförmig niedergehenden neutralisirt worden seyn; daraus darf man aber nicht schließen, daß ein spiralförmiger Draht immer durch einen geraden Draht ersetzt werden kann, sondern nur, daß sie in diesem speciellen Falle gleiche Wirkung hervorbringen.

Wir nennen gekreuzte Ströme diejenigen, die nicht parallel sind, mögen sie nun in einer Ebene liegen und ihre Richtungen sich schneiden, oder mögen sie in verschiedenen Ebenen liegen, so daß sie sich nicht treffen. Im ersten Falle ist der Kreuzungspunkt derjenige, in welchem sie sich schneiden, im zweiten Falle ist es ein Punkt der kürzesten Entfernung beider Ströme. Zwei gekreuzte Ströme streben sich immer parallel zu stellen, um sich nach einer Richtung zu bewegen, oder mit anderen Worten: es findet Anziehung zwischen den Theilen des Stromes Statt, welche nach dem Kreuzungspunkte hingehen, und dann wieder zwischen denen, welche vom Kreuzungspunkte abgehen. Abstoßung aber findet Statt zwischen einem Strome, welcher sich nach dem Kreuzungspunkte hin bewegt, und einem andern, welcher von ihm weggeht.

Sind z. B. $a\,b$ und $c\,d$, Fig. 190, zwei Ströme, deren Kreuzungspunkt ist, so findet eine Anziehung zwischen den Theilen $a\,r$ und $c\,r$ Statt,

Fig. 190.



in welchen der Strom nach dem Kreuzungspunkte hingeht, und zwiſchen den Theilen $r\,b$ und $r\,d$, in welchen er vom Kreuzungspunkte abgeht. Abſtoßung findet zwiſchen $a\,r$ und $r\,d$, ferner zwiſchen $c\,r$ und $r\,b$ Statt.

Der Apparat, welcher Fig. 191 im Durchſchnitt und Fig. 192 im Grundriß dargeſtellt iſt, dient dazu, um dieſen Satz nachzuweiſen. In einer Platte von Holz ſind zwei halbkreisförmige Rinnen angebracht, welche durch iſolirende Scheidewände a und b getrennt ſind. Im Mittelpunkte erhebt ſich eine Spitze, auf welcher eine ſehr bewegliche Kupfernadel $c\,d$ ruht, deren Enden von Eiſen ſind und in das Queckſilber der Rinnen eintauchen. Etwas unter dieſer Nadel befindet ſich eine andere $e\,f$, deren Enden gleichfalls in das Queckſilber eintauchen und die man mit der Hand verſchieben kann. Der Strom, welcher bei x eintritt, geht in die eine Rinne, dann durch die beiden Nadeln in die andere, um endlich bei y auszutreten. Man zeigt die Abſtoßung, wenn man den Nadeln die Stellung Fig. 192 giebt, die Anziehung aber, wenn man ſie in eine ſolche Lage bringt, daß der Winkel $e\,r\,d$ kleiner als ein rechter wird.

Fig. 191.

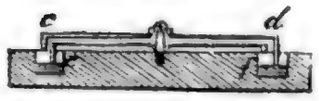
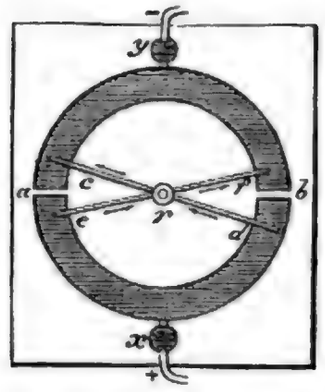


Fig. 192.

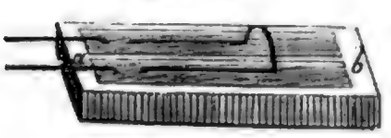


Daraus geht hervor, daß ein Strom $a\,b\,c$, welcher einen Winkel bildet, ein Beſtreben hat, den Draht zurückzubiegen, weil ſich die Theile $a\,b$ und $b\,c$ des Stromes abſtoßen.

Fig. 193

Dieſe Abſtoßung ſtrebt nicht bloß $b\,c$ in die Verlängerung von $a\,b$ zu bringen, ſondern ſie wirkt auch noch, wenn dieſe Bedingung erfüllt iſt, d. h. die verſchiedenen zuſammenhängenden Theile eines und deſſelben geradlinigen Stromes ſtoßen ſich ab. Es iſt dies eine wichtige Folgerung aus der Ampere'ſchen Theorie; was jedoch den experimentellen Beweis für dieſen Satz betrifft, ſo möchte wohl noch viel zu wünſchen übrig ſeyn. Der Apparat, deſſen man ſich dazu bedient, iſt Fig. 194 dargeſtellt. Ein mit Queckſilber gefülltes Gefäß iſt durch eine nichtleitende Scheidewand $a\,b$ in zwei Abtheilungen getheilt. Ein mit Seide überſponnener Kupferdraht iſt ſo gebogen, daß er von

Fig. 194.



einer Abtheilung in die andere führt und daß sich in jeder Gefäßabtheilung noch ein horizontaler Arm befindet, welcher der Scheidewand parallel ist; diese horizontalen Arme sind bis auf das Ende, welches, etwas abwärts gebogen, in das Quecksilber eintaucht, mit Wachs überzogen. Bringt man nun die beiden Poldrähte einer galvanischen Kette in die Verlängerung der horizontalen Arme dieses Drahtes, so weicht der ganze Draht von den Poldrähten zurück, was anzudeuten scheint, daß der Theil des Stromes, welcher den horizontalen Arm durchströmt, von demjenigen Theile abgestoßen wird, welcher durch das Quecksilber geht. Dieser Schluß ist aber nicht ganz streng, weil man die Art und Weise noch nicht kennt, wie ein Strom aus einer Flüssigkeit in einen festen Körper übergeht; es würde z. B. schon hinreichen, daß ein Theil des Stromes sich schräg gegen den Draht bewegte, um eine gewisse Abstoßung hervorzubringen.

91 **Ampère's Theorie des Magnetismus.** Das Princip dieser Theorie besteht darin, jedes Molekül eines Magneten als von einem Strome gleichsam eingehüllt zu betrachten, welcher, das Molekül beständig umkreisend, in sich selbst zurückkehrt und den man der Einfachheit wegen als kreisförmig annehmen kann. Man stellt sich also nach dieser Theorie jeden auf der Axe des Magneten rechtwinkligen Querschnitt ungefähr auf die durch Fig. 195 anschaulich gemachte Weise vor. Statt aller der elementaren Ströme eines jeden Querschnitts aber kann man sich denselben von einem einzigen Strome umkreis't denken, welcher gleichsam die Resultirende aller elementaren Ströme dieses Querschnitts ist, und somit läßt sich ein Magnetstab als ein System unter sich paralleler geschlossener Ströme denken, ungefähr so, wie es Fig. 196 anschaulich macht.

Fig. 195.

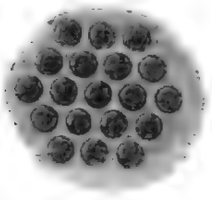
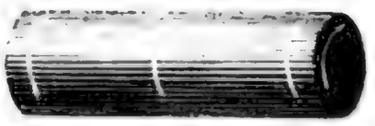


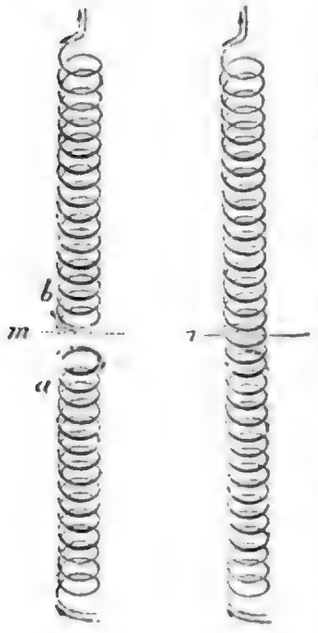
Fig. 196.



Was hier von einem Magnetstabe gesagt ist, läßt sich auch auf eine Magnetnadel, kurz auf jeden Magneten, welche Form er auch haben mag, anwenden.

Denken wir uns einen Schraubendraht, welcher sich von *m*, Fig. 197, aus nach beiden Seiten hin erstreckt, und welchen der Strom in der Richtung der Pfeile durchläuft; denken wir uns denselben ferner bei *m* durchgeschnitten und von einander entfernt, so folgt aus unserer Definition, daß bei *a* ein Südpol und bei *b* ein Nordpol ist, denn wenn man sich dem Pol bei *a* zuwendet, so hat man den aufsteigenden Strom zur

Fig. 197.



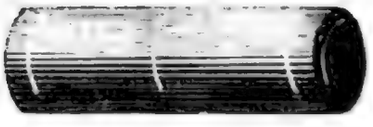
Rechten, wendet man ſich aber dem Pol *b* zu, ſo hat man ihn zur Linken.

Schneidet man alſo einen Schraubendraht rechtwinklig zu ſeiner Axe durch, ſo entſtehen zwei ungleichnamige Pole, gerade ſo, wie wenn man einen Magneten durchbricht.

Ferner iſt klar, daß ſich die ungleichnamigen Pole *a* und *b* anziehen, denn wenn wir nur die Endkreiſe betrachten, ſo ſieht man ſchon, daß hier die Ströme parallel und gleich gerichtet ſind, ebenſo iſt es aber mit allen anderen.

Um die Erklärung der Anziehung und Abſtoßung der Pole in verſchiedenen Stellungen der Magnete gegen einander recht anſchaulich zu machen, zeichnet man am beſten auf Cylinder von Holz oder Pappe, die ohngefähr 1 bis 1,5 Fuß lang ſind und 2 bis 3 Zoll im Durchmeſſer haben, Pfeile in der Weiſe, wie man Fig. 198 ſieht, welche die Richtung der Ströme darſtellen; ferner bezeichne man noch auf beiden Cylindern die gleichnamigen Pole auf dieſelbe Weiſe, etwa die Nordpole mit +, die Südpole mit —. Mit Hülfe zweier ſolcher Modelle läßt ſich leicht begreiflich machen, warum gleichnamige Pole ſich immer abſtoßen, ungleichnamige immer anziehen, in welcher Weiſe man ſie auch übrigens einander nähern mag.

Fig. 198.



Ein elektrodynamiſcher Schraubendraht iſt aber doch noch weſentlich von einem Magneten verſchieden. Während ein Magnet an ſeinen Enden am kräftigſten wirkt, findet ſich beim Schraubendraht das Maximum der Wirkung in der Mitte. Poggendorff hat dies durch einen einfachen Verſuch anſchaulich gemacht.

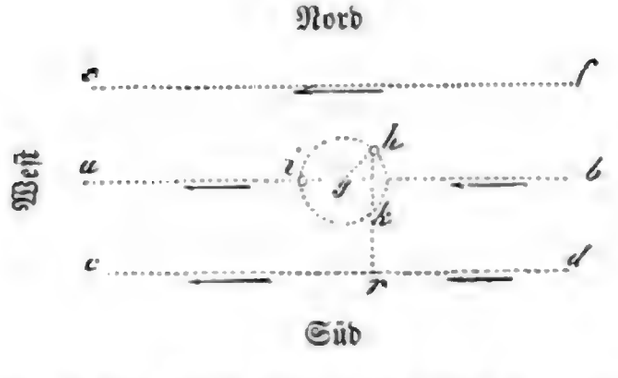
Man verſchaffe ſich einen hohlen Magnetſtab, etwa 3 Zoll lang und inwendig 2,5 Linien weit; füttere ihn mit einer Glasröhre aus und halte ihn ſenkrecht, z. B. mit dem Nordpol nach oben. Nun ſchiebe man vorſichtig eine leichte magnetiſche Nähnadel von etwa 9 Linien Länge mit ihrem Südpol von oben hinein. Sie wird nicht durchfallen, ſondern zum Theil noch aus dem Magnet hervorragend oben ſchweben. Man kann ſie ſogar eine Strecke hinunterdrücken, und ſie ſteigt nach Aufhebung des Druckes wieder in die Höhe. Bei einem Schraubendraht aber begiebt ſich die Nadel ſogleich in die Mitte und bleibt dort ſchweben, wenn der Strom ſtark genug iſt.

Nach unſerer Hypotheſe müſſen wir uns auch die Erde von Strömen im

Innern umkreis't denken, die mit dem magnetischen Aequator parallel sind. An jedem einzelnen Orte aber kann man sich vorstellen, daß die Wirkung aller dieser Ströme sich auf die eines einzigen hypothetischen Stromes reducirt, dem man nur eine entsprechende Intensität und Lage zutheilen muß, damit er wirklich den Totaleffect aller übrigen repräsentiren kann. Wir wollen diesen gedachten Strom den mittleren Erdstrom nennen. Auf dem magnetischen Aequator liegt dieser Strom in einer vertikalen Ebene, an allen anderen Orten aber ist er mehr oder weniger geneigt; wir werden sogleich sehen, wie man seine Lage und Richtung bestimmen kann.

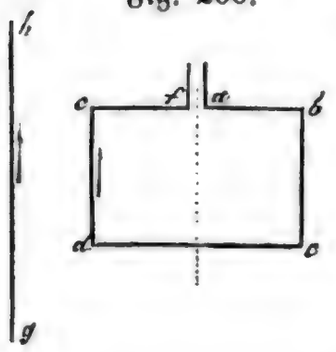
Es ist leicht zu zeigen, daß der mittlere Erdstrom von Osten nach Westen geht. In der That, da an jedem Orte der wirksamste Theil dieses Stromes im Wesentlichen wagerecht ist, so braucht man seine Wirkung nur einem vertikalen Strom, welcher um eine ebenfalls vertikale Axe drehbar ist, auszusetzen und seine Gleichgewichtslage zu beobachten. Wir haben aber oben Nro. 89 gesehen, daß ein solcher beweglicher Strom unter der Einwirkung der Erde sich immer rechtwinklig auf den magnetischen Meridian stellt, daß er auf der Ostseite stehen bleibt, wenn er herabströmt, auf der Westseite, wenn er aufsteigt. Der Erdstrom steht also auch rechtwinklig auf der Ebene des magnetischen Meridians und geht von Osten nach Westen. Dieser Versuch aber, welcher so leicht die Richtung des Stromes bestimmt, entscheidet nichts über seine Lage, denn er könnte nördlich oder südlich vom Beobachtungsort vorübergehen und würde doch dieselbe Wirkung auf den vertikalen Strom hervorbringen, wie man in Fig. 199 sehen kann. Der vertikale Strom, den wir aufsteigend annehmen wollen, erscheint in unserer Figur zum Punkt verkürzt in h, ebenso die Umdrehungsaxe g. Wäre nun der Erdstrom südlich in $c\,d$, so würde das Stromstück $r\,d$ den vertikal aufsteigenden Strom in h abstoßen, während er von dem Stromstück $r\,c$ angezogen wird; der Strom h wird also, nach Westen hin getrieben, einen Kreis beschreiben und in i zur Ruhe kommen. Denselben Effect würde aber auch ein nördlich vom Beobachtungsort sich bewegender Strom $f\,e$ hervorbringen.

Fig. 199.



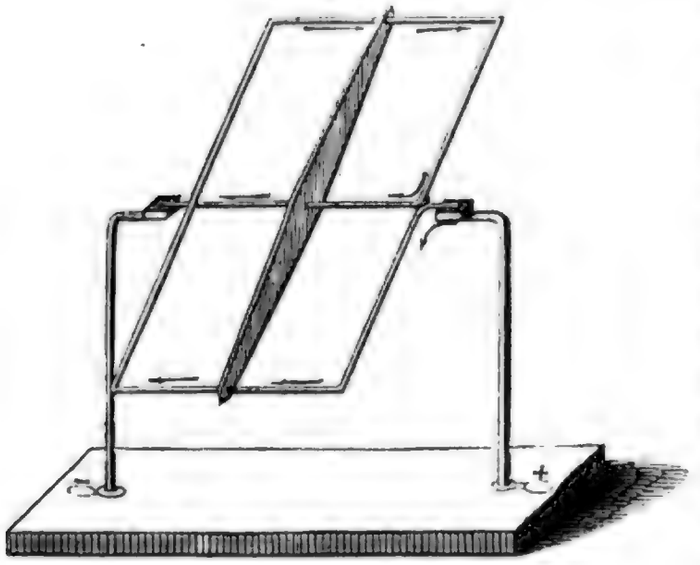
Für jeden Ort befindet sich der Erdstrom in einer auf

Fig. 200.



der Inclinationsnadel rechtwinkligen Ebene. Um dies zu beweiſen, muß man ſich erinnern, daß, wenn ein rechtwinkliger Strom *abcdef* vollkommen frei um ſeine Rotationsaxe drehbar iſt und durch einen Strom *gh* afficirt wird, der mit der Umdrehungsaxe des Rechtecks parallel iſt, daß alsdann ein ſtabiles Gleichgewicht ſtattfindet: 1) wenn die Ebene des Rechtecks mit der des Stromes und der Axe zuſammenfällt, 2) daß der Strom der Seiten des Rechtecks, welche dem richtenden Strome zunächſt liegt, mit dieſem gleiche Richtung hat. Da dies, ganz unabhängig von der Lage der Axe, wahr iſt, ſo läßt er ſich auch auf einen horizontalen Strom und ein um eine horizontale Axe drehbares Rechteck anwenden. Wenn man alſo den Apparat, Fig. 201, ſo ſtellt, daß die horizontale Umdrehungsaxe mit dem Erdſtrom parallel iſt, d. h. alſo, wenn ſie rechtwinklig auf dem magnetiſchen Meridian ſteht, ſo iſt klar, daß die Ebene, in welcher ſich nun der rechteckige Strom ins Gleichgewicht ſtellt, auch die Ebene iſt, in welcher der Erdſtrom liegen muß. Macht man den Verſuch, ſo findet man, daß ſich das Rechteck rechtwinklig auf die Richtung der Inclinationsnadel ſtellt.

Fig. 201.



Rotation eines beweglichen Stromes um einen Magneten. 92

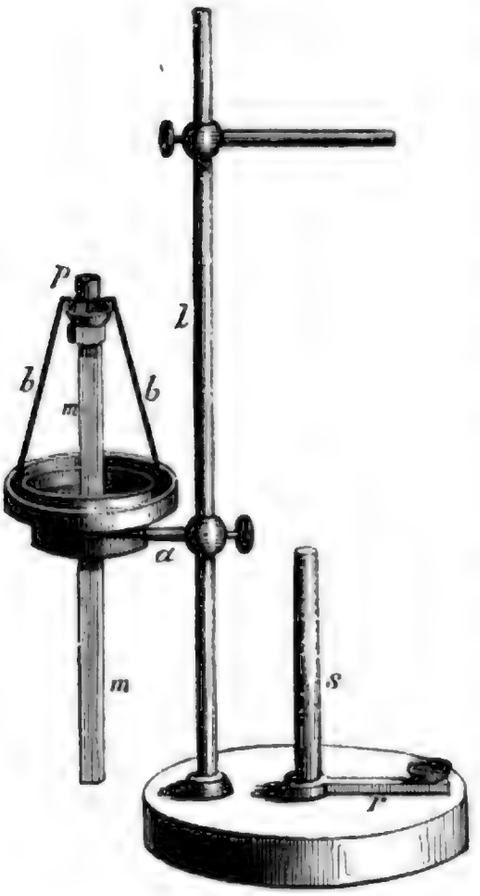
Es ſey *abcd*, Fig. 202, der horizontale Durchſchnitt eines vertikal ſtehenden Magneten, *s* ein zum Punkt verkürzt erſcheinender vertikaler Strom, den wir aufſteigend annehmen wollen und welcher um die vertikale Axe drehbar iſt, ſo iſt nach den in Nro. 89 auseinandergeſetzten Principien klar, daß das Stück *ab* des Magnetſtromes den Strom *s* abſtoßen, *bc* aber ihn anziehen wird, der Strom *s* muß alſo in der Richtung des Stromes im Magneten rotiren. Wäre der Strom *s* niedergehend, ſo würde die Richtung der Rotation die entgegengeſetzte werden; ebenſo wird natürlich die

Fig. 202.

Umkehrung der Rotationsrichtung durch eine Umkehrung der magnetischen Pole bewirkt.

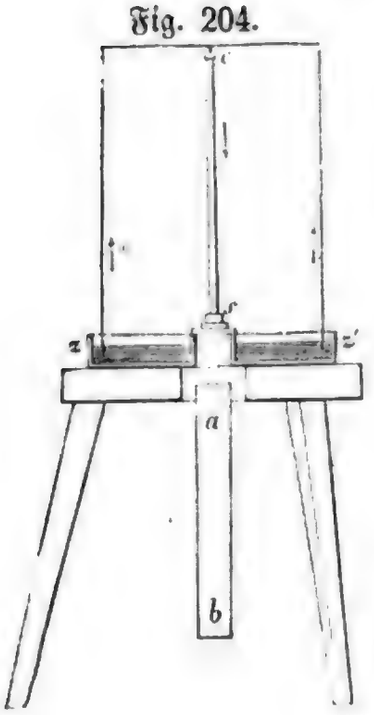
Eine solche Rotation kann mit Hülfe des Apparates, Fig. 203, hervorgebracht werden. An einem vertikalen Stabe *l* ist ein horizontaler Stab *a* verschiebbar, so daß man ihn in jeder beliebigen Höhe und in jeder Richtung mit Hülfe einer Schraube feststellen kann. Dieser horizontale Stab trägt einen Messingring, auf welchem eine kreisförmige hölzerne mit Quecksilber zu füllende Rinne aufgesetzt wird. In dem Messingringe steckt eine Korkscheibe, durch deren Mitte ein vertikaler Magnetstab hindurchgeht, an welchem oben eine Hülse mit einem Stahlnäpfchen angeschraubt ist. In diesem Stahlnäpfchen sitzt eine feine Spitze auf, welche einen kupfernen Bügel *b* trägt, der auf beiden Seiten heruntergebogen ist, so daß seine unteren mit einer Platinspitze versehenen Enden in die Quecksilberrinne eintauchen.

Fig. 203.



In der Mitte dieses Kupferbügels befindet sich ein Quecksilbernäpfchen *p*. Wird nun der eine Poldraht der Kette in dieses Quecksilbernäpfchen *p*, der andere oben in die Rinne getaucht, so durchläuft der Strom die beiden Arme des Kupferbügels, welcher alsbald zu rotiren beginnt.

Fig. 204.

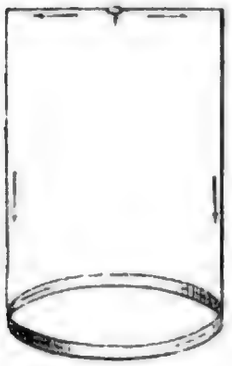


Die Wirkung des Magneten auf den Strom in dem einen Arme des Kupferbügels wird durch die Wirkung unterstützt, welche der Magnet auf den Strom im andern Arme des Kupferbügels hervorbringt.

Faraday hat einen Rotationsapparat angegeben, zu welchem man nicht noch einer besondern galvanischen Kette bedarf, in dem der Strom im Apparat selbst erzeugt wird. *z z'* ist ein Gefäß von Zink, welches gesäuer-

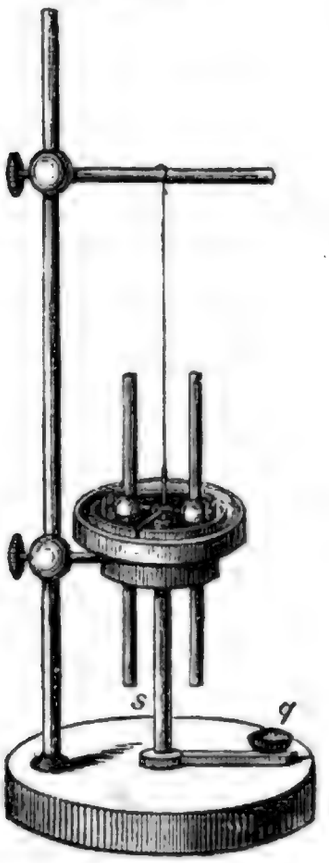
tes Waſſer enthält; es iſt in der Mitte durchbrochen, über die Mitte der Oeffnung aber iſt ein Querſtab von Zink gelegt, auf welchem ein Kupferſtäbchen *s c* befeſtigt iſt. In das Queckſilbernäpfchen, mit welchem das Stäbchen oben endigt, iſt der Apparat, Fig. 205, eingeſetzt. Der poſitive Strom geht vom Zink durch die Flüſſigkeit zu dem Kupferring, ſteigt dann in den Drähten in die Höhe und in dem Stäbchen *s t* wieder herunter. Durch einen unter dem Gefäß angebrachten Magneten *a b* wird eine raſche Rotation hervorgebracht. Man kann dieſen Apparat ſelbſt ſo empfindlich machen, daß er ſchon unter dem Einfluß des Erdmagnetismus rotirt.

Fig. 205.



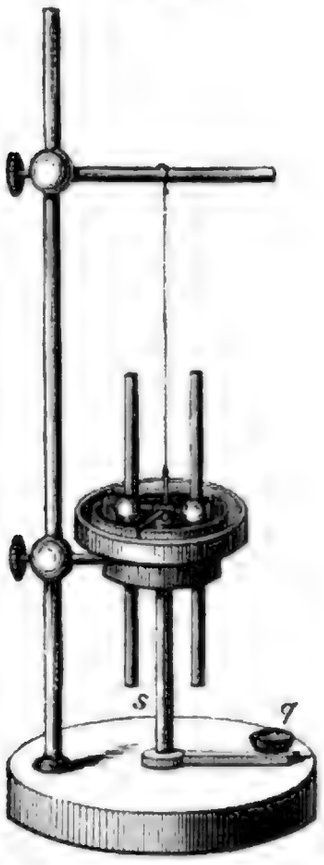
Rotation eines beweglichen Magneten um einen feſten Strom. 93
Wäre der Strom *s*, Fig. 202, feſt, der Magnet *a b c d* aber um *s* drehbar, ſo würden dieſelben Kräfte, welche im vorigen Falle den Strom um den Magneten drehten, nun den Magneten in Rotation verſetzen. Derſelbe Apparat, Fig. 203, welcher gedient hat, die Rotation eines Stroms um einen Magneten zu zeigen, kann mit einigen Abänderungen auch dienen, um einen Magneten um einen feſten Strom rotiren zu laſſen. Zunächſt wird die Korkſcheibe mit dem Magnetſtab *m* und dem Kupferbügel *b* weggenommen, der horizontale Stab *a* aber in der Weiſe feſtgeſchraubt, daß das obere Ende des Kupferſtabes *s* den Mittelpunkt der Holzrinne bildet, wie dies Fig. 206 der Fall iſt. Am obern Ende des Kupferſtabes *s* befindet ſich eine Höhlung, welche mit Queckſilber gefüllt wird. In dieſer Höhlung hängt von oben herab ein Metallſtiftchen, ſo daß ſein unteres Ende in das Queckſilber eintaucht, ohne den Boden zu berühren. An dieſes an einem Seidenfaden herabhängende Metallſtäbchen iſt ein horizontaler Querſtab befeſtigt, welcher mit zwei Kugeln endigt, in welchen zwei Magnetſtäbe ſo ſtecken, daß beide ihren Nordpol oben oder beide ihren Nordpol unten haben.

Fig. 206.



In der Mitte des erwähnten horizontalen Querstabs ist rechtwinklig zu seiner Richtung ein anderes Metallstäbchen angesetzt, welches mit einer nach unten umgebogenen Platinspitze endigt; diese Platinspitze taucht in das Quecksilber der hölzernen Rinne. Wenn nun der eine Pol der Kette in das Quecksilbernäpfchen q, der andere in die Holzrinne getaucht wird, so geht der Strom von q durch s, von dem obern Ende des Stäbchens s durch das Horizontalstäbchen in die Rinne, oder er circulirt in entgegengesetzter Richtung. Sobald der Strom zu circuliren beginnt, fängt auch das ganze an dem Faden hängende System mit den beiden Magnetstäben an, um die durch den Faden gebildete vertikale Axe zu rotiren. Die Wirkung des vertikalen Stromes in s auf den einen Magnetstab wird durch die Wirkung des Stromes auf den andern Magnetstab unterstützt. Wäre der Nordpol des einen und der Südpol des andern Magneten nach unten gekehrt, so würden sich die Wirkungen des Stromes auf die beiden Magnetstäbe gegenseitig aufheben.

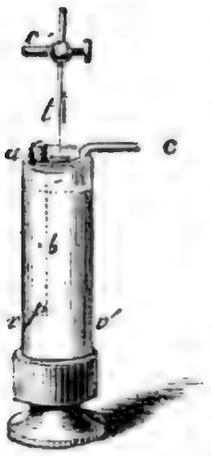
Fig. 207.



Die Richtung der Rotation hängt davon ab, ob die Nordpole oder die Südpole der Magnete nach unten gekehrt sind, und in welcher Richtung der Strom circulirt. Nehmen wir an, der positive Strom stiege in s in die Höhe, so müßte in diesem Draht die Ampère'sche Figur aufrecht stehen. Wenn nun der Nordpol (das Südende) der beiden Magnete nach unten gekehrt ist, so wird, wenn die Figur nach einem Magnetstab hin sieht, die Rotation nach ihrer rechten Seite hin gehen, die Magnete rotiren also in der Richtung wie der Zeiger einer Uhr. Eine Umkehrung des Stroms oder eine Umkehrung der Magnetpole würde eine Umkehrung der Rotationsrichtung zur Folge haben.

Eine andere Form dieses Versuchs ist Fig. 208 dargestellt. Ein Glasgefäß $v\ v'$ ist bis nahe an den Rand mit Quecksilber gefüllt; ein cylinderförmiger Magnet $a\ b$, durch ein Platinstück p beschwert, hält sich in dem Quecksilber so aufrecht, daß er noch einige Millimeter über den

Fig. 208.



Spiegel deſſelben hervorragt. Ein Stäbchen *t*, welches man mittelſt einer Schraube höher und tiefer ſtellen kann, taucht mit ſeinem untern Ende in das Queckſilber ein, während es an ſeinem andern Ende mit einem Kupferdrahte *c'* verbunden iſt, der zu dem einen Pole einer galvaniſchen Kette führt; ein anderer Kupferdraht *c* endlich, welcher mit dem andern Pole der Kette verbunden iſt, endigt im Gefäße mit einem Ringe, der etwas in das Queckſilber eintaucht. Sobald die Kette geſchloſſen wird, dreht ſich der Magnet mehr oder minder ſchnell immer in derſelben Richtung um das Stäbchen *t* herum; er zeigt einiges Beſtreben, ſich dem Stäbchen *t* zu nähern, mit einiger Vorſicht läßt ſich aber Alles ſo einrichten, daß er fern bleibt. Damit die Rotation regelmäßig und raſch vor ſich geht, iſt ſchon ein kräftiger Apparat nöthig.

Wenn man den Strom durch die eine Hälfte der Axe eines Magneten ſelbſt auf- oder niederſtrömen läßt, ſo rotirt er um ſeine eigene Axe, wenn ſeine Aufhängung oder ſeine Aufſtellung eine ſolche Rotation erlaubt; eine ſolche Anordnung iſt Fig. 209 dargeſtellt. Am obern Ende des Magneten

Fig. 209.

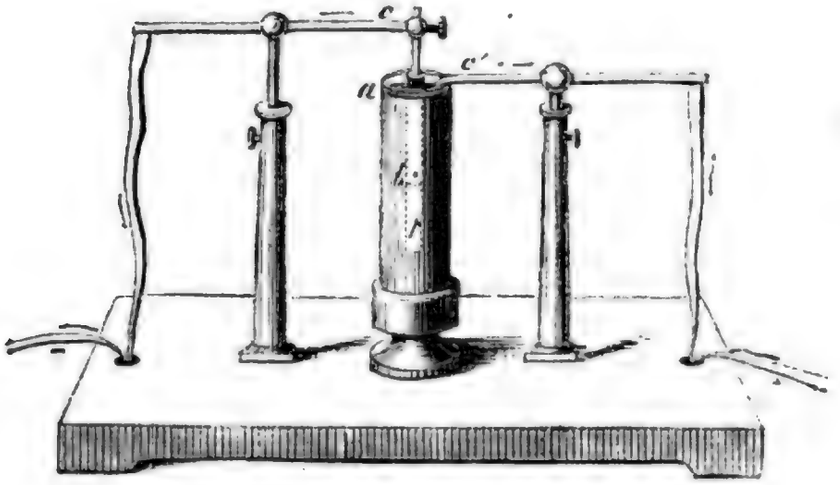
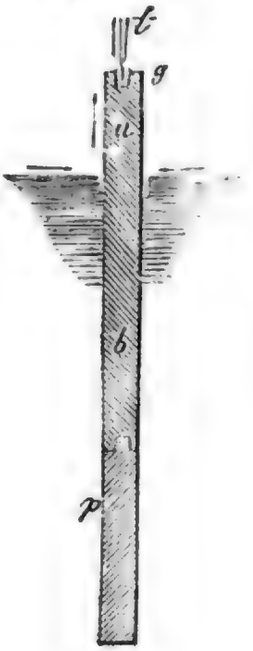


Fig. 210.



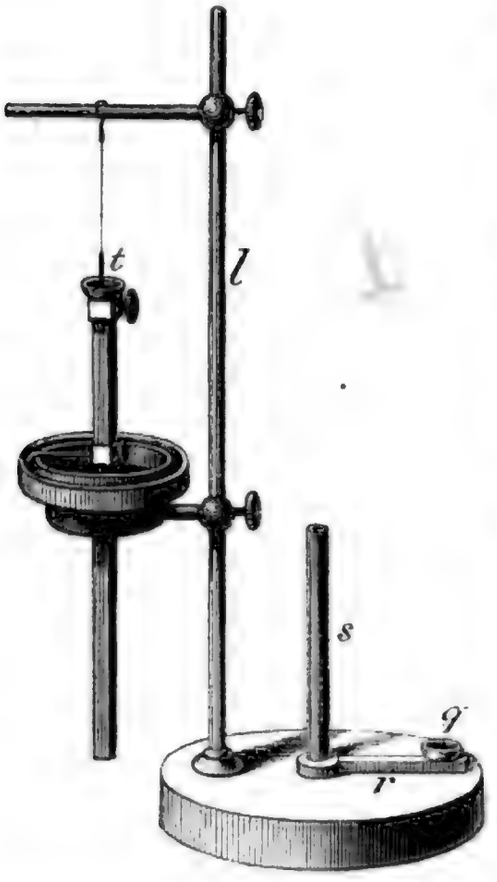
befindet ſich nämlich eine Höhlung, die man Fig. 210 deutlicher ſieht und die mit Queckſilber gefüllt wird; die Spitze des Stäbchens *t* ragt von oben in dieſes Queckſilber hinab, ohne jedoch den Magneten zu berühren, welcher auf dieſe Weiſe ſeine ganze Beweglichkeit behält. Sobald

die Kette in der Weise geschlossen wird, wie beim vorigen Versuch, dreht sich der Magnet wie ein Kreisel rasch um sich selbst.

Die Richtung der Drehung findet ganz in der Weise Statt, wie es das Ampère'sche Gesetz verlangt. Ist nämlich der Südpol oben, so dreht sich derselbe immer nach der linken Seite der in den Strom eingeschaltet gedachten menschlichen Figur. Ist der Nordpol oben, so geht die Bewegung in umgekehrter Richtung vor sich.

Um einen Magneten um seine eigene Axe rotiren zu machen, kann man dasselbe Stativ anwenden, welches Fig. 203 und Fig. 206 abgebildet ist.

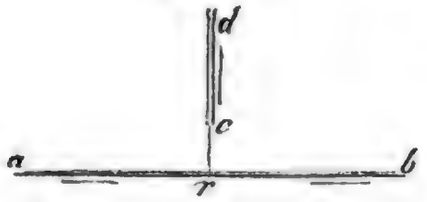
Fig. 211.



Die zu diesen Versuchen nöthige Anordnung ist Fig. 211 dargestellt. Die Rinne hat dieselbe Stellung, wie in Fig. 203, jedoch ist die Korkscheibe mit dem Magneten *m* und dem Kupferbügel *b* weggenommen, dagegen hängt nun, durch das Centrum der Rinne gehend, an einem seidnen Faden ein Magnetstab herab, so daß ein Theil seiner Länge über, ein Theil unter der Horizontalebene der Holzrinne sich befindet. Am obern Ende des Magnetstabes ist eine Hülse angeschraubt, welche oben ein Queckſilbernäpfchen *t* trägt, in dessen Mitte der Faden befestigt ist, an welchem der Magnet hängt. Eine zweite Hülse ist in der Höhe der Holzrinne an den Magnetstab angeschraubt, von dieser führt ein Metallstäbchen, welches mit einer nach unten gebogenen Platinspitze versehen ist, zu der Rinne. Sobald das eine Polende der Kette in das Queckſilbernäpfchen *t*, das andere in die Holzrinne eingetaucht ist, beginnt die Rotation des Magneten um seine eigene Axe. Der Strom durchläuft das horizontale Stäbchen und das obere Ende des Magnetstabes.

94 **Rotation eines Stromes unter dem Einfluß eines andern.** Denken wir uns einen festen unbegränzten Strom *a b* und einen Strom *cd*, der parallel mit sich selbst verschiebbar ist, so wird, wenn der Kreuzungspunkt

Fig. 212.



in r iſt, zwiſchen den Theilen $c\,d$ und $r\,b$ Anziehung, zwiſchen $a\,r$ und $c\,d$ aber Abſtoßung ſtattfinden. Jede dieſer beiden Kräfte läßt ſich in zwei andere zerlegen, von denen eine parallel mit $a\,b$ und eine rechtwinklig auf $a\,b$ iſt. Da $c\,d$ nur parallel mit $a\,b$ bewegt werden kann, ſo können die mit $c\,d$ parallelen Compoſanten keine Wirkung hervorbringen; die mit $a\,b$ parallelen aber vereinigen ſich zu einer Reſultirenden, welche den Strom $c\,d$ in der Richtung von a nach b forttreibt.

Wenn der feſte Strom $a\,b$ kreisförmig gebogen iſt, ſo muß ſich $c\,d$ in Folge derſelben Wirkung beſtändig im Kreiſe herumdrehen, wie dies durch Fig. 213 deutlich gemacht wird, wo $a\,b$ einen horizontalen Draht darſtellt, in welchem ſich der Strom von der Mitte c nach den Enden a und b bewegt. Der Kreis ſtellt einen horizontalen Strom dar, der in der Richtung der äußeren Pfeile circulirt. Die Rotation des Drahtes $a\,b$ findet in der Richtung der inneren gekrümmten Pfeile Statt.

Fig. 213.

Ein Apparat, welcher dazu dienen kann, um eine ſolche Rotation hervorzubringen, iſt Fig. 214 dargeſtellt; er beſteht aus einem Gefäße von Kupfer, deſſen Mitte durchbrochen iſt, ſo daß ein vertikaler Metallſtab hindurchgehen kann, der oben mit einem Queckſilbernäpfchen endigt. Ein horizontaler Draht, welcher mit zwei Kugeln endigt, ſpielt auf einer feinen Spitze, welche auf dem Boden dieſes Queckſilbernäpfchens ruht. Zwei kurze vertikale Drähte gehen in das ſaure Waſſer des Gefäßes herab. Der Strom, welcher z. B. durch den vertikalen Stab in der Mitte aufſteigt, durchläuft in entgegengeſetzter Richtung die beiden Arme des horizontalen Drahtes und geht dann in das ſaure Waſſer über. Wenn man nun, während der Strom auf die angegebene Weiſe circulirt, das Gefäß mit einem ſpiralförmigen Leiter, Fig. 215, umgiebt, der aus einem mit Seide umwickelten Kupferſtreifen gebildet iſt, und durch welchen man einen Strom gehen läßt, ſo erhält man dadurch den kreisförmigen Strom. Wie wir früher geſehen haben, rotirt der horizontale Draht ſchon unter

Fig. 214.

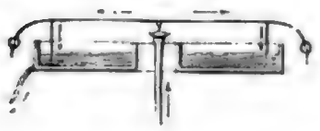
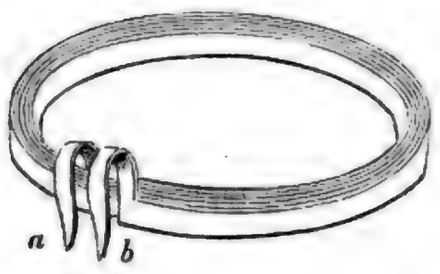


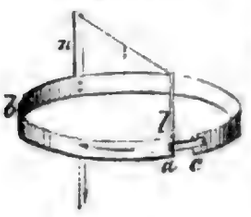
Fig. 215.



dem Einfluſſe des Erdmagnetismus, allein die Wirkung des Stromes in dem Spiralbande überwiegt die des Erdmagnetismus bedeutend, was ſchon daraus hervorgeht, daß die Richtung der Rotation eine andere wird, ohne daß man die Richtung des Stromes im Drahte ändert, je nachdem man den Strom bei *a* oder bei *b* in das Spiralband eintreten läßt.

Savary hat eine intereſſante Abänderung dieſes Verſuchs angegeben; wenn man in einem dem vorigen ähnlichen Kupfergefäße ſtatt des horizontalen Drahtes den Apparat Fig. 216 aufſetzt, ſo beobachtet man ebenfalls eine Rotation, ohne Anwendung des Spiralbandes, welche ſich auf folgende Weiſe erklärt. Der vertikale Streifen *n* iſt aus einer nichtleitenden Subſtanz verfertigt, der Strom ſteigt alſo nur durch den Draht *l* nieder und durchläuft das Kupferband in der Richtung von *a* über *b* nach *c*, weil das Band zwiſchen *a* und *c* durch ein Stück Elfenbein unterbrochen iſt. Von dem Bande geht der Strom theils zum Rande, theils zum Boden des Gefäßes über, indem er durch die Flüſſigkeit hindurchgeht, und dieſe partiellen Ströme in der Flüſſigkeit können als feſt in Beziehung auf das bewegliche Band betrachtet werden, dieſes muß ſich alſo in der Richtung *cab* drehen; ja es würde ſich noch in derſelben Richtung drehen, wenn der Strom nicht aus dem Bande in die Flüſſigkeit, ſondern aus der Flüſſigkeit in das Band überginge. Um die Richtung der Rotation umzukehren, müßte die Unterbrechung des Bandes links von *l* angebracht ſeyn. Wäre das Band nicht unterbrochen, ſo hätten die Ströme in der Flüſſigkeit gar keinen Einfluß mehr, oder vielmehr ihr Einfluß höbe ſich gegenſeitig auf, indem der Strom von *l* aus ſich nach beiden Seiten verbreitete.

Fig. 216.



So wie man früher die elektriſchen Anziehungen und Abſtoßungen zu einer Menge von elektriſchen Spielereien benutzte, ſo hat man jetzt auch die elektromagnetiſchen Rotationsphänomene auf die mannigfaltigſte Weiſe variirt. Es mag hier genügen, die Grundphänomene in den einfachſten Formen kennen gelernt zu haben.

95 **Einwürfe gegen Ampère's Theorie.** Gegen die Erklärung, welche die Ampère'ſche Theorie von einigen der erwähnten Rotationserſcheinungen giebt, laſſen ſich in der That gegründete Einwendungen machen; namentlich macht Weber darauf aufmerkſam, daß die angegebene Erklärung der Rotation eines Magneten um ſeine eigne Axe (ſiehe Fig. 211) unzuläſſig ſey, weil die Wirkung eines Stromes im Magneten ſelbſt auf die magnetiſchen Theilchen unmöglich eine Bewegung deſſelben Syſtemes zur Folge haben könne. Wenn mehrere materielle Punkte

zu einem festen Ganzen vereinigt sind, so kann dieses Ganze nicht durch Kräfte in Bewegung gesetzt werden, die zwischen den einzelnen Punkten dieses Systemes wirken; wenn man in einem Wagen sitzend, noch so stark gegen die Vorderwand desselben drückt, so bleibt er doch stehen.

Wenn sich auch die Ampère'sche Theorie gegen diese Einwürfe nicht halten läßt, so leistet sie uns doch in Beziehung auf die Orientirung in der Masse der Erscheinungen große Dienste.

Will man die Ampère'sche Theorie ganz fallen lassen, so muß man von der in Nro. 92 angeführten Erscheinung, daß ein elektrischer Strom, welcher nur dem einen Pole eines mit dem Strome parallelen freibeweglichen Magneten gegenübersteht, diesen Pol je nach seiner Natur nach der einen oder andern Seite zu drehen strebt, als von einer Fundamentalerscheinung ausgehen und dann daraus alle übrigen Erscheinungen ableiten, welche die gegenseitige Einwirkung von Strömen in Magneten darbieten.

Zweites Kapitel.

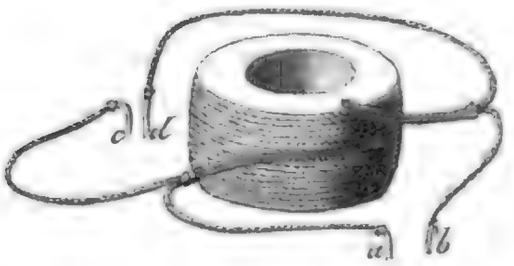
Inductionserscheinungen.

Ein elektrischer Strom kann im Moment seines Beginnens oder Auf- 96
hörens oder auch durch bloße Annäherung oder Entfernung in einem andern benachbarten Leiter gleichfalls elektrische Ströme erzeugen.

Diese Erscheinungen wurden im Jahre 1838 von Faraday entdeckt und verdienen die größte Aufmerksamkeit, theils wegen ihrer theoretischen Wichtigkeit, theils wegen der zahlreichen Thatsachen, welche sich auch diesem Princip ergeben. Diese neuen Ströme, welche in den Leitern durch die vertheilende Wirkung anderer Ströme hervorgebracht werden, führen den Namen der Inductionsströme. Man könnte sie auch temporäre Ströme nennen, weil sie nur einen Augenblick dauern. Wollte man sie nach ihrem Ursprunge nennen, wie man dies bei den thermoelektrischen und den hydroelektrischen gethan hat, so könnte man sie magneto-elektrische oder elektro-elektrische nennen, weil sie entweder durch Magnetismus oder durch Elektricität erzeugt werden. Wir wollen ein für allemal den Namen Inductionsströme beibehalten, welcher auch von der Mehrzahl der Physiker angenommen ist.

97 **Wirkung eines elektrischen Stromes auf einen in sich geschlossenen leitenden Kreis.** Auf eine Spule von Holz oder Metall seyen zwei mit Seide überzogene Kupferdrähte so aufgewickelt, wie man Fig. 217 sieht. Der eine Draht läuft hier immer neben dem andern her, ohne daß eine leitende Verbindung zwischen ihnen stattfindet; wenn man also mit dem einen Draht eine galvanische Kette schließt, indem man seine beiden Enden *a* und *b* mit den Polen derselben in Verbindung setzt, so circulirt in diesem Drahte der Strom, ohne daß er jedoch auf den andern Draht übergehen könnte. In diesem andern Drahte aber wird durch die vertheilende Wirkung dieses Stromes ein Strom in entgegengesetzter Richtung hervorgebracht, wenn nur die Enden *c* und *d* dieses zweiten Drahtes in leitender Verbindung sind. Diese leitende Verbindung kann man durch einen Multiplicator herstellen, indem man *c* mit dem einen, *d* mit dem andern Multiplicatordrahte in Berührung bringt. In dem Augenblicke, in welchem man durch den ersten Draht die galvanische Kette schließt, zeigt eine Ablenkung der Multiplicatornadel einen Strom im Nebendrahte an; gesetzt, der positive Strom gehe im Hauptdrahte von *a* nach *b*, so zeigt der Multiplicator einen Strom im Nebendrahte an, welcher in der Richtung von *d* nach *c* denselben durchläuft.

Fig. 217.



Dieser Strom im Nebendrahte ist jedoch nicht andauernd, denn die Multiplicatornadel kehrt alsbald wieder zum Nullpunkte der Theilung zurück; sobald aber der Hauptstrom unterbrochen wird, schlägt die Galvanometernadel nach der entgegengesetzten Richtung aus, sie zeigt also nun einen Strom, der den Nebendraht in der Richtung von *c* nach *d*, also in derselben Richtung durchläuft, in welcher der eben unterbrochene Hauptstrom sich bewegt hatte.

Ein elektrischer Strom kann also in einem nahe liegenden in sich geschlossenen Drahte im Moment seines Entstehens und seines Aufhörens Ströme induciren. Der Strom, welcher bei der Schließung der Kette inducirt wird, hat die entgegengesetzte, der bei dem Unterbrechen der Kette inducirte dieselbe Richtung wie der Hauptstrom.

Bei dem eben angeführten Versuche inducirte der Strom im Hauptdrahte einen Strom im Nebendrahte im Moment seines Beginnens und seines Aufhörens; man könnte also vermuthen, daß diese Wirkungen durch irgend welche Modificationen hervorgebracht würden, welche den Anfang und das Aufhören des Stromes begleiten. Um hierüber alle Zweifel zu heben, hat Faraday durch Versuche dargethan, daß man genau dieselben

Reſultate erhält, wenn man einen Leitungsdraht, welcher von einem Strome durchlaufen wird, alſo den Draht, von welchem die inducirende Wirkung ausgeht, demjenigen Drahte nähert oder entfernt, in welchem ein Strom inducirt werden ſoll.

Wenn man alſo ſagt, die Wirkung eines Stromes auf einen geſchloſſenen Leiter beginnt, ſo iſt darunter entweder zu verſtehen, daß der inducirende Strom ſelbſt erſt beginnt, oder daß er ſchon im Gange war und dem geſchloſſenen Leiter genähert wird. In dieſen beiden Fällen ſind die Wirkungen ganz gleich. Wenn man ſagt, die Wirkung eines Stromes auf einen geſchloſſenen Leiter hört auf, ſo heißt das, daß der inducirende Strom entweder ſelbſt aufhört oder von dem geſchloſſenen Leiter entfernt wird.

Die inducirten Ströme bringen alle Wirkungen der gewöhnlichen Ströme hervor, namentlich auch Funken und Schläge. Wenn die Drahtenden *c d* ganz nahe zuſammengebracht werden, ſo ſieht man hier einen Funken überſpringen, wenn durch die Enden *a* und *b* des inducirenden Drahtes die Kette geſchloſſen wird. Faßt man das Drahtende *c* in die eine, *d* in die andere Hand (die Hände müſſen bei dieſem Verſuche etwas angefeuchtet ſeyn), ſo fühlt man beim Oeffnen und Schließen des Hauptſtromes einen Schlag, der um ſo ſtärker iſt, je länger der aufgewundene Draht iſt.

Mit Hülfe der eben beſprochenen doppelten Spirale kann man ſehr intenſive Wirkungen auf die Nerven hervorbringen, denn wenn die aufgewundenen Drähte eine bedeutende Länge haben, iſt die Intenſität des Inductionsſtromes ohne Vergleich ſtärker als die des Stromes, welchen die angewandte galvaniſche Kette an und für ſich giebt. Eine einfache galvaniſche Kette, ſelbſt eine Batterie von 4, 6, ja 12 Paaren giebt an und für ſich keinen Schlag. Schließt man aber mit den Enden des inducirenden Drahtes eine Kette von wenigen, ja nur von einem Paare, ſo erhält man am Inductionsdraht einen kräftigen Schlag.

Eine Inductionsſpirale verwandelt alſo gewiſſermaaßen die elektriſche Quantität eines Stromes, wie ihn ein oder mehrere Paare von großer Oberfläche geben, in einen Strom von großer Intenſität; eine ſolche Inductionsſpirale bietet alſo ein treffliches Mittel, um phyſiologiſche Effecte hervorzubringen, namentlich wenn man dafür ſorgt, daß die Kette in raſcher Aufeinanderfolge bald geſchloſſen und dann wieder geöffnet wird. Dies wird nun auf eine äußerſt ſinnreiche Weiſe durch einen von Neef und Wagner conſtruirten Apparat hervorgebracht, der ſich wohl mehr als irgend ein anderer für phyſiologiſche und mediciniſche Zwecke eignet, und den wir deshalb auch hier näher betrachten wollen.

In Fig. 216 ſieht man eine Inductionsſpirale, ganz von derſelben Art, wie die ſchon oben, Seite 230, betrachtete. Um die Windungen des einen

Drahtes leicht von denen des andern unterscheiden zu können, sind beide Drähte nicht mit gleichfarbiger Seide übersponnen, der eine etwa blau, der andere gelb. Der eine Pol der galvanischen Kette ist durch einen Draht $a\,b$ mit einem Quecksilbernäpfchen b verbunden; von b wird der

Fig. 218.

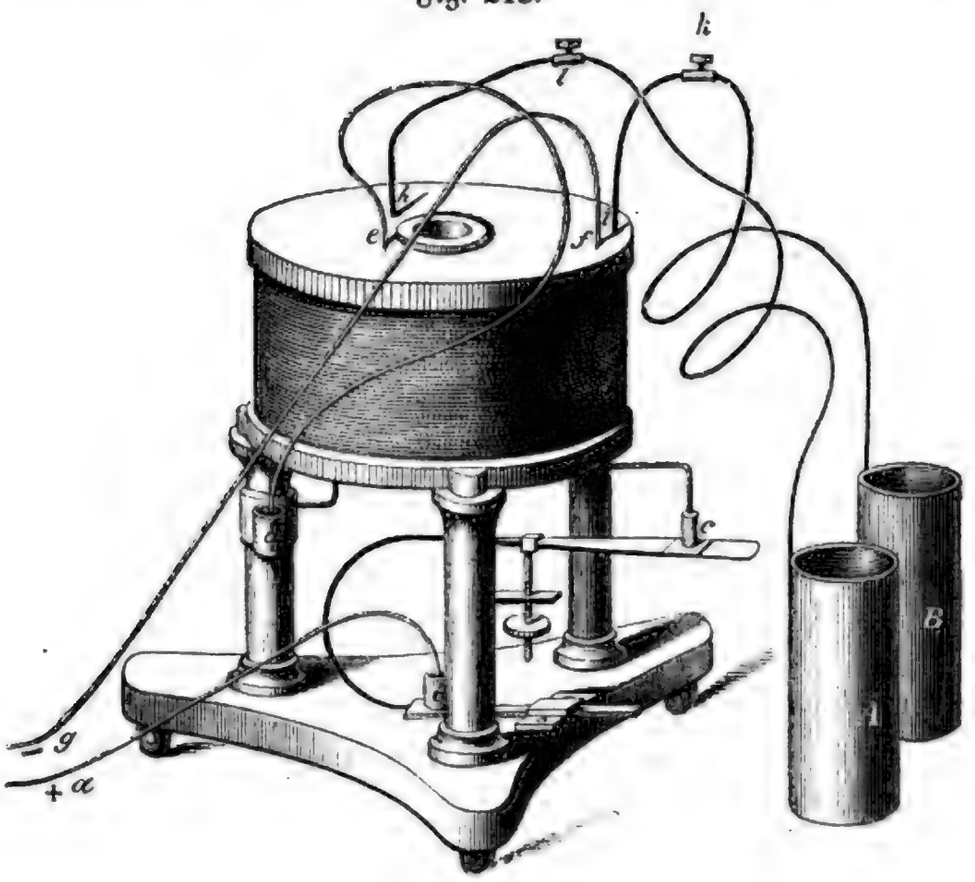
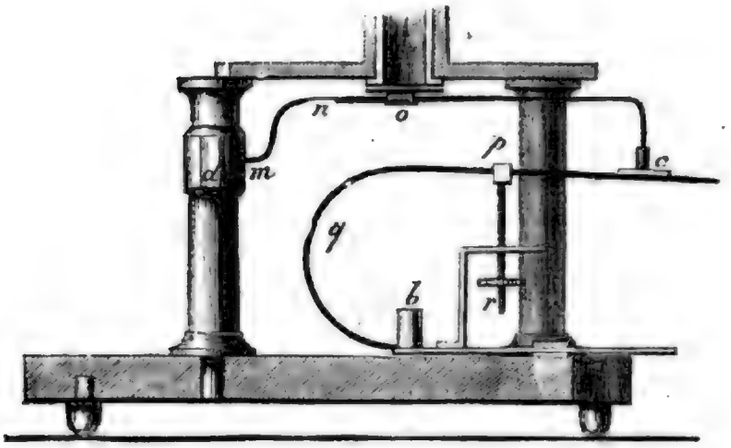


Fig. 219.



Strom auf eine Weise, die wir gleich näher werden kennen lernen, nach dem Quecksilbernäpfchen d geführt. In dieses Näpfchen aber taucht das eine Ende des inducirenden Drahtes, welcher bei e in die Spuhle eintritt und sie bei f nach vielfachen Windungen wieder verläßt; das Drahtende fg

ist mit dem andern Pol der Kette in Verbindung, der inducirende Strom geht also von *a* über *b, c, d, e, f* nach *g*.

Der inducirte Draht tritt bei *h* in die Spule ein, läuft immer neben dem inducirenden Drahte her und tritt bei *i* aus; die beiden Enden dieses Drahtes sind *h l* und *i k*.

Die Verbindung zwischen den Queckſilbernäpfchen *b* und *d* ist in Fig. 219 deutlicher zu sehen. Um den einen der drei Pfeiler, welche die Inductionsrolle tragen, ist ein Metallring gelegt, und an diesen ist dann das Queckſilbernäpfchen *d* angelöthet, an diesem Ringe ist aber auch ein Kupferdraht *m n o c* befestigt, welcher horizontal dicht unter der Inductionsrolle herläuft und bei *c* mit einem kleinen Hammer von Platin endigt. Dieser Hammer ruht auf einem Platinplättchen, welches auf den Kupferdraht aufgelöthet ist, der über *p* und *q* zum Queckſilbernäpfchen *b* führt. Der obere der beiden eben betrachteten Kupferdrähte ist bei *n* platt geklopft, so daß diese dünne Stelle gleichsam eine Axe bildet, um welche man das Drahtende *o c* leicht auf und nieder bewegen kann; hebt man das rechte Ende des Drahtes, so wird dadurch das Hämmerchen bei *c* von der Platinplatte abgehoben, der Strom also an dieser Stelle unterbrochen. Das Heben und Senken des Drahtes *n o c* wird aber durch den Apparat selbst verrichtet. Die Inductionsrolle ist nämlich mit einem hohlen Cylinder von weichem Eisen gefüttert, welches magnetisch wird, sobald ein Strom den inducirenden Draht durchläuft; bei *o* ist aber an dem Drahte, der unter der Inductionsrolle herläuft, eine horizontale Eisenplatte befestigt, die sich ganz nahe unter jenem Eisenkerne befindet; wird nun das Eisen magnetisch, so wird die Platte gehoben, dadurch aber wird der Strom bei *c* unterbrochen, der Eisenkern verliert seinen Magnetismus, die vorher gehobene Eisenplatte fällt wieder ab, das Hämmerchen bei *c* fällt also auch wieder auf das Platinplättchen, wodurch auch die Circulation des Stromes wieder hergestellt wird. Alsbald wird aber auch die Eisenplatte *o* und das Hämmerchen bei *c* wieder gehoben, der Strom also abermals unterbrochen, um sogleich wieder hergestellt zu werden u. s. w.

Die Schnelligkeit, mit welcher die Unterbrechungen des Stromes auf einander folgen, hängt von der Entfernung der Eisenplatte vom Eisenkern ab; um diese nun reguliren zu können, ist die Stellschraube *r* angebracht, vermittelst deren das Drahtstück *p c*, also auch der Draht *c o n*, höher oder tiefer gestellt werden kann.

Um nun durch den inducirten Strom recht kräftige physiologische Wirkungen hervorzubringen, sind an den Enden der Inductionsspirale zwei Drähte mit den metallenen Cylindern *A* und *B* befestigt, die man in die etwas angefeuchteten Hände nimmt, oder die man mit Wasser füllt und

die Finger in dieses Wasser taucht. Als Elektricitätsquelle nimmt man am besten irgend eine constante Kette von einem oder mehreren Paaren. Die Schläge dieses Apparates sind so stark, daß sie sich durch eine Reihe von mehreren Personen fortpflanzen, wenn diese sich mit benetzten Händen anfassen. Ein sehr interessanter Versuch besteht darin, daß man statt jener Cylinder zwei etwa handgroße Metallplatten an den Enden der Inductionsspirale befestigt, diese in einiger Entfernung von einander in Wasser eintaucht und dann das Glied, auf welches man die Elektricität will wirken lassen, also beispielsweise die Hand, ohne die Polplatten zu berühren, zwischen dieselben in das Wasser hält. In diesem elektrischen Bade entzieht der eingetauchte Körpertheil dem Wasser den größten Theil der dasselbe durchströmenden Elektricität und wird also auf allen Punkten auf das Lebhafteste erregt. Man begreift wohl, wie wichtig solche Bäder für die ärztliche Anwendung seyn können.

Auch der Strom im Schließungsdrahte einer Leydner Flasche kann in benachbarten geschlossenen Leitern einen Inductionsstrom erzeugen, die Richtung des Inductionsstromes ist aber hier der des inducirenden Entladungsstromes gleich gerichtet, was wohl begreiflich ist, wenn man bedenkt, daß bei der kurzen Dauer des Entladungsschlages nur die Wirkung des aufhörenden Stromes nachgewiesen werden kann.

98 **Einwirkung der Windungen auf einander.** Wenn man eine einfache Kette durch einen kurzen Draht schließt, so erhält man nur einen schwachen Funken, wenn man die Kette wieder öffnet; einen Schlag erhält man dabei nicht; wendet man aber statt des kurzen einen sehr langen Draht an, so sieht man beim Oeffnen der Kette einen ungleich stärkeren Funken überspringen, und, wenn man das eine Drahtende in der einen, das andere in der andern Hand hält, so fühlt man im Moment des Oeffnens einen Schlag. Diese Wirkungen werden dadurch ganz außerordentlich verstärkt, daß man den Draht aufwindet, und zwar so, daß die einzelnen Windungen möglichst nahe zusammenliegen; um dies möglich zu machen, muß natürlich der Draht mit Seide übersponnen seyn, damit der Strom nicht seitwärts von einer Windung zur nächsten übergehen kann.

An dem oben, Seite 197, beschriebenen Apparate, Fig. 165, wurde die eben besprochene Wirkung sehr langer gewundener Drähte im Jahre 1832 ganz unversehens beobachtet. Wenn man nämlich die Kette unterbricht, indem man die Enden *n* und *p* des 2000 Meter langen Drahtes aus den Quecksilbernäpfchen zieht, so sieht man einen sehr hellen Funken überspringen, während der Funken der Säule selbst kaum sichtbar ist; und wenn man diese beiden Drahtenden mit etwas feuchten Händen anfaßt und dann aus dem Quecksilber zieht, so erhält man einen fast niederschmetternden Schlag.

Man kann dieſe Wirkung langer Drahtſpiralen ſehr gut mit einer einfachen Spirale, Fig. 220, zeigen; man hat zu dem Ende nur die Drahtenden *m* und *n* in die Queckſilbernäpfchen zu tauchen, welche die Pole einer galvaniſchen Kette bilden, ſo wird man beim Herausnehmen der Drahtenden den verſtärkten Funken ſehen und den Schlag fühlen. Um aber dieſe Schläge in raſcher Folge bequem durch den Körper gehen zu laſſen, kann man den oben ſchon beſprochenen Neef'ſchen Apparat, Fig. 221, anwenden. Laſſen wir zuerſt die Drahtſpirale, in welcher bei den obigen Verſuchen der Strom inducirt wird, ganz aus dem Spiele, denken wir uns, die Drahtſpirale, welche die galvaniſche Kette ſchließt, ſey allein vorhanden; ein Kupferdraht, der mit einem metalliſchen Cylinder endigt, ſey in das Queckſilbernäpfchen *b*, ein gleicher in das Näpfchen *d* eingetaucht. Wenn man nun die beiden Metallcylinder in die Hände faßt, ſo erhält man einen heftigen Schlag, ſo oft durch das Aufheben des Hämmerchen bei *c* die Kette geöffnet wird.

Fig. 220.

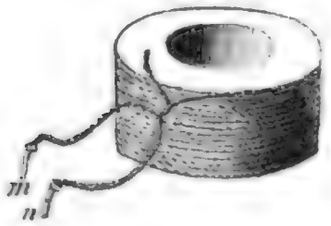


Fig. 221.

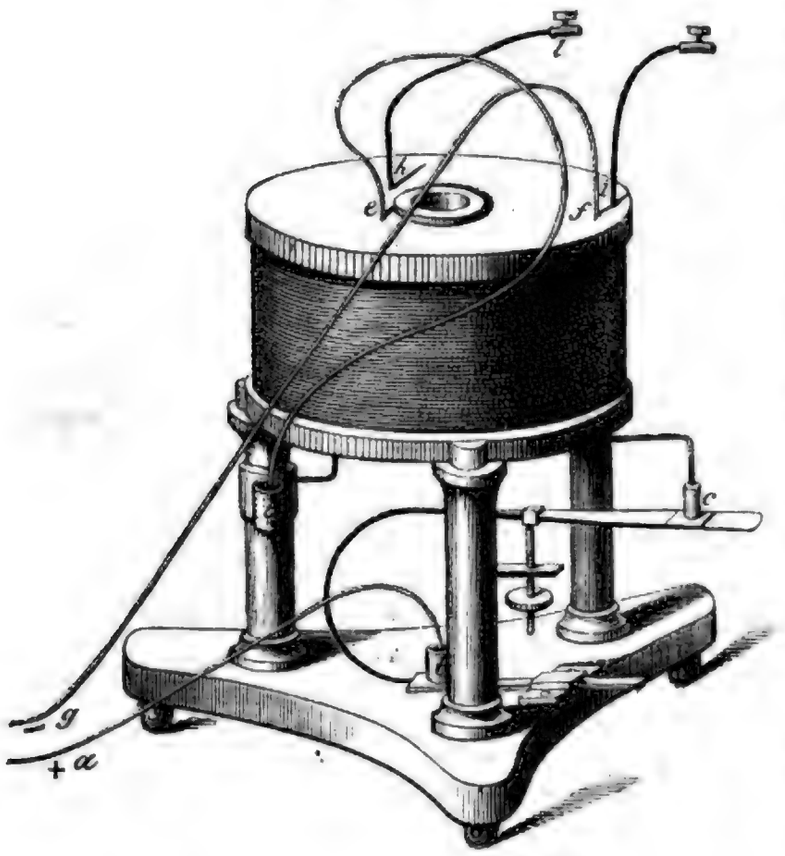
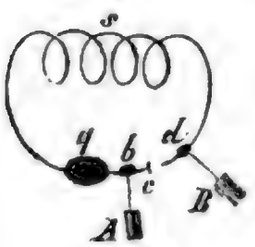
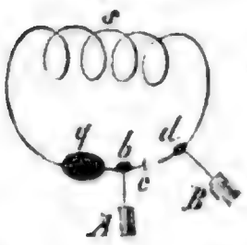


Fig. 222.



Der wahre Hergang läßt ſich vielleicht an dem Apparate ſelbſt nicht gleich beim erſten Anblicke überſehen, durch das Schema Fig. 222 wird er aber ganz deutlich werden. Es ſtellt *q* das galvaniſche Element vor; von dem einen Pol derſelben geht der Strom, wenn die Kette nicht unterbrochen iſt, zuerſt zum Queckſilbernäpfchen *b*, dann über die Trennungsſtelle *c* nach dem zweiten Queckſilbernäpfchen *d* und von dieſem durch die

Fig. 223.



Spirale *s* zum andern Pol der Kette; wird aber die Kette bei *c* geöffnet, so geht der Schlag durch den Körper, welcher die Metallcylinder bei *A* und *B* verbindet.

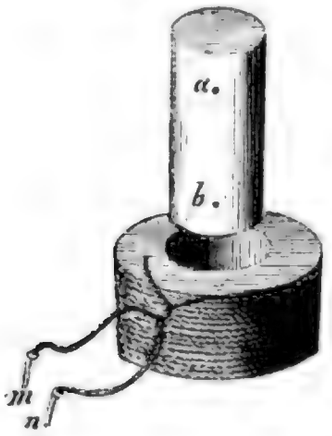
Die Wirkung läßt sich bei dem eben besprochenen Versuch mit dem Neef'schen Apparate noch dadurch bedeutend verstärken, daß man die beiden Spiraldrähte so verbindet, daß sie einen einzigen von doppelter Länge bilden. Dies kann auf folgende Weise bewerkstelligt werden: die Enden der einen Spirale endigen mit Hülsen, in welche man jeden beliebigen Draht einstecken und durch das Schräubchen festklemmen kann. Klemmt man in diese Hülsen die Drähte fest, welche zu den Metallcylindern *A* und *B* führen, so ist der Apparat für die auf Seite 232 besprochenen Versuche vorgerichtet; um aber die beiden Spiralen zu einer einzigen von doppelter Länge zu vereinigen, hat man nur das Ende *g* des bei *f* austretenden gelben Drahtes in die Hülse *l* einzuklemmen. Der Strom nimmt alsdann folgenden Weg: bei *e* tritt er in die gelbe Spirale ein, durchläuft dieselbe, tritt bei *f* aus den Windungen aus, geht dann in den blau übersponnenen Draht über, in welchem er denselben Weg noch einmal durchläuft, um bei *i* zum zweitenmale aus den Windungen auszutreten; in der Hülse, mit welcher der bei *i* austretende blaue Draht endigt, wird der Draht eingeklemmt, welcher zum andern Pol der galvanischen Kette führt.

Was nun die Erklärung dieser Erscheinung betrifft, so sieht man wohl leicht ein, daß sie mit den vorher besprochenen Inductionserscheinungen in sehr naher Beziehung stehen. Faraday schreibt diese Effecte einer inducirenden Wirkung zu, welche die Windungen einer und derselben Drahtspirale auf einander ausüben, und nennt diesen Inductionsstrom einen Extrastrom (extracurrent). Dieser Extracurrent entsteht im Moment des Schließens und des Oeffnens der Kette; bei der Schließung hat der Extrastrom eine dem Hauptstrome entgegengesetzte Richtung; daher beim Schließen keine merkliche Wirkung; beim Oeffnen der Kette aber hat der Extrastrom gleiche Richtung mit dem primären, daher denn die kräftigen Wirkungen beim Unterbrechen der Kette. Dove hat vor Kurzem (Pogg. Ann. LVI. Seite 251) das wirkliche Vorhandenseyn dieser Gegenströme, welches durch Faraday's Untersuchungen noch nicht außer Zweifel gesetzt war, durch eine sinnreich angeordnete Reihe von Versuchen nachgewiesen.

99 **Induction elektrischer Ströme durch Magnete.** Ein mit Seide umsponnener Metalldraht sey um eine hölzerne oder metallene Spule gewickelt, deren innere Oeffnung so groß ist, daß man einen Magneten hineinstecken kann. Die beiden Enden *m* und *n* des Drahtes werden mit den beiden Enden des Multiplicatordrahtes eines Galvanometers in Ver-

bindung gebracht, welches hinlänglich weit entfernt ist, daß der Magnet selbst nicht ablenkend auf die Nadel des Instrumentes wirkt. In dem Augenblick, in welchem man den Magneten in die Spule hineinsteckt, bemerkt man auch eine Ablenkung der Galvanometernadel, die jedoch bald wieder auf den Nullpunkt der Theilung zurückkehrt, um von Neuem, und zwar nach der entgegengesetzten Richtung, sich zu bewegen, wenn man den Magneten aus der Spule zurückzieht. Die Richtung des Stromes, welche das Galvanometer bei der Annäherung des Magneten anzeigt, ist der Richtung der Ströme entgegengesetzt, welche nach der Ampère'schen Theorie den Magneten umkreisen; der bei der Entfernung des Magneten im Drahte inducirte Strom hat mit jenen Strömen gleiche Richtung.

Fig. 224.



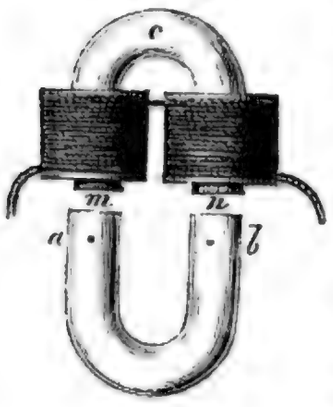
Wenn man ein sehr empfindliches Galvanometer hat, ist es gar nicht einmal nöthig, daß man einen so langen Draht auf eine Spule wickelt, um den durch einen Magneten inducirten Strom nachzuweisen; ja man hat nicht einmal nöthig, einen gewundenen Draht anzuwenden, man braucht nur die beiden Enden eines einfachen Drahtes mit den beiden Enden des Galvanometerdrahtes zu verbinden und dann dem Drahte einen Magneten zu nähern und sogleich wieder zu entfernen, dann wieder zu nähern und wieder zu entfernen u. s. w., wodurch die Nadel in hinlänglich merkliche Oscillationen versetzt wird. Wenn man nämlich den Magneten zum erstenmale nähert, so wird ein freilich sehr kleiner Ausschlag, etwa nach der rechten Seite, erfolgen; die Nadel würde nun zurückgehen und nach wenigen Oscillationen, die immer kleiner werden, ganz zur Ruhe kommen, wenn man den Magneten nicht wieder entfernte; wenn man aber während des Rückgangs der Nadel den Magneten entfernt, so wird nun die Nadel nicht allein durch ihre Trägheit über den Nullpunkt hinausgetrieben, diese Bewegung wird noch durch den Inductionsstrom beschleunigt, welcher durch die Entfernung des Magneten hervorgebracht wird; nun muß also ein Ausschlag nach der Linken erfolgen, der schon größer ist als der bei der ersten Annäherung des Magneten hervorgebrachte. Geht nun die Nadel wieder zurück, so wird der Magnet wieder genähert und dadurch ein abermals verstärkter Ausschlag nach der Rechten hervorgebracht u. s. w.

Bei diesem Versuch wird eine Wirkung auf die geschlossenen Drahtwindungen durch die Annäherung oder die Entfernung des Magneten hervorgebracht; die magnetische Wirkung kann aber auch noch auf eine andere

Weiſe anfangen und aufhören; ſie kann in dem Augenblick anfangen, in welchem die magnetiſchen Flüſſigkeiten im Eiſen zerſetzt werden, und aufhören, wenn es wieder in den nichtmagnetiſchen Zuſtand zurückkehrt. Dies läßt ſich auf folgende Weiſe zeigen.

In Fig. 225 iſt *a b* ein ſtarker Hufeiſenmagnet, *m c n* iſt ein Stück weiches Eiſen, welches ebenfalls hufeiſenförmig gebogen iſt, und deſſen Schenkel mit vielfachen Windungen eines und deſſelben ſehr langen, mit Seide überſponnenen Drahtes bedeckt ſind. Die Richtung der Windungen auf beiden Schenkeln muß von der Art ſeyn, daß, wenn ein Strom durch den Draht ginge, die beiden Schenkel entgegengeſetzte Pole bildeten. Die beiden Enden des Drahtes werden in hinreichender Entfernung vom Eiſen und dem Magneten mit einander verbunden, und eine einfache Magnetnadel, über oder unter welcher man den Draht herleitet, wird ſchon durch den inducirten Strom abgelenkt. Wenn man den Magneten *a b* raſch den Schenkeln des Eiſenkerns *m n* nähert, ſo zeigt die Nadel einen Strom an, welcher die entgegengeſetzte Richtung von dem hat, welcher nach der Ampère'ſchen Theorie das weiche nun zum Magneten gewordene Eiſen umkreiſ't. Beim Entfernen des Magneten *a b* hat der inducirte Strom gleiche Richtung mit dem des nun aufhörenden im weichen Eiſen.

Fig. 225.



Man kann leicht zeigen, daß dieſer im Draht inducirte Strom nicht die directe Wirkung der magnetiſchen Pole des genäherten Magneten iſt; denn dieſer Strom erlangt eine ſolche Intenſität, daß, wenn man die beiden Drahtenden nicht in völlige Berührung, ſondern nur in eine ſehr kleine Entfernung von einander bringt, ein lebhafter Funken überſpringt, ſowohl, wenn der Magnet raſch genähert, als auch, wenn er entfernt wird. Dieſer elektriſche Funken iſt offenbar durch magnetiſche Wirkungen hervorgebracht worden. Wenn man jedes Drahtende in eine Hand nimmt, ſo ſpürt man bei Annäherung und Entfernung des Magneten einen Schlag, welcher, wenn der Magnet ſtark genug iſt, dem Schlage einer kleinen Leydner Flaſche verglichen werden kann.

Selbſt durch den Erdmagnetismus können Ströme inducirt werden. Wenn man einen Stab von weichem Eiſen, der mit einem Schraubendraht umwunden iſt, in die Richtung der Inclinationsnadel hält, dann aber raſch umdreht, ſo daß das obere Ende unten, das untere oben hin kommt, ſo wird in dem Schraubendraht ein Strom inducirt.

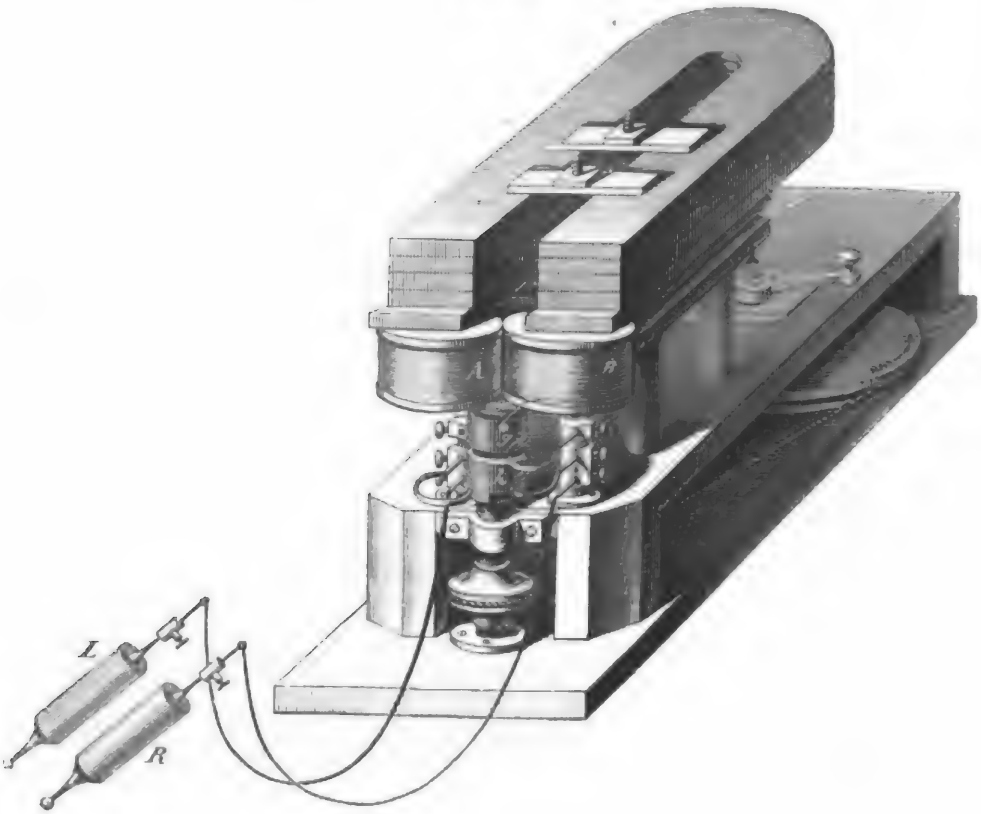
Wenn das innere Hufeiſen des Apparates Fig. 169, Seite 200 unter den dort angegebenen Umſtänden rotirt, ſo müſſen bei der Annäherung der Schenkel des inneren Hufeiſens gegen die Schenkel des äußeren in den Drahtwindungen Ströme inducirt werden, die nach den oben entwickelten Geſetzen denen entgegengeſetzt ſind, welche die Rotation veranlaſſen; dieſe durch die Rotation inducirten Ströme müſſen alſo nothwendig die Kraft ſchwächen, mit welcher ſich die Schenkel der beiden Hufeiſen anziehen und abſtoßen; und ſo tragen denn dieſe inducirten Ströme weſentlich dazu bei, daß der mechaniſche Effect, welchen ſolche Rotationsapparate liefern, weit geringer iſt, als man nach der Stärke des Magnetismus erwarten ſollte, welcher einem weichen Eiſen durch einen galvaniſchen Strom mitgetheilt werden kann.

Magneto-elektriſche Rotationsmaſchine. Denken wir uns die 100
Enden der auf Seite 238 betrachteten Inductionsſpiralen, welche ſich an den beiden Polen eines hufeiſenförmigen weichen Eiſenkerns befinden, in leitende Verbindung gebracht, dann dieſes weiche Eiſen um eine vertikale Axe raſch umgedreht, ſo daß der Pol *m*, der ſich eben über *a* befindet, nach einer halben Umdrehung über *b* ſteht, ſo wird, weil *m* ſich von *a* und *n* von *b* entfernt, in den Drahtwindungen ein Strom inducirt; dieſer Strom nun dauert mit veränderlicher Stärke, aber mit unveränderlicher Richtung während einer halben Umdrehung fort, nämlich während *m* von *a* bis *b* und *n* von *b* bis *a* gedreht wird; ſobald aber die zweite halbe Umdrehung beginnt, ändert ſich die Richtung des Stromes, um nach Vollendung einer ganzen Umdrehung abermals zu wechſeln; wenn alſo das weiche Eiſen mit ſeinen Drahtwindungen raſch rotirt, ſo werden dieſe Windungen beſtändig von alternirenden Strömen durchlaufen, die jedesmal in einander übergehen, wenn die Pole des weichen Eiſens über den Polen des Magneten ſtehen. Daß die Richtung der Ströme wirklich in der oben angegebenen Weiſe wechſelt, ergiebt ſich leicht aus den über die Richtung der inducirten Ströme gegebenen Regeln, denn da *a* und *b* entgegengeſetzte Pole ſind, ſo muß das Entfernen von *a* einen Strom in derſelben Richtung inducieren wie ein Annähern gegen den Pol *b*.

Um auf bequeme Weiſe mit den durch Magnete inducirten Strömen Verſuche anſtellen zu können, hat man nach dem eben angedeuteten Princip beſondere Maſchinen conſtruirt, welche den Namen der magneto-elektriſchen Rotationsmaſchine führen. Die erſte Maſchine der Art conſtruirte Pixii im Jahre 1832; bei dieſer rotirte der Magnet und nicht das weiche Eiſen mit den Inductionsſpiralen. Später erfuhr dieſer Apparat bedeutende Veränderungen und Verbeſſerungen, namentlich durch

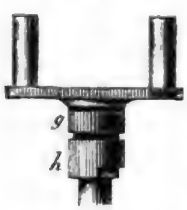
Sarton, Clarke, Ettingshauſen und Stöhrer. Bei allen den ſpäter conſtruirten Maſchinen ſind die Magnete feſt und die Inductionsſpiralen beweglich. Fig. 226 ſtellt eine nach Ettingshauſen's Angaben conſtruirte magnetoelektriſche Rotationsmaſchine dar.

Fig. 226.



Die Inductionsſpiralen *A* und *B* ſind um zwei Cylinder von weichem Eiſen gewickelt, welche an den beiden Enden einer horizontalen Eiſenplatte befeſtigt ſind, deren Mitte auf einer vertikalen eiſernen Axe aufſitzt, wie man dies Fig. 227 ſehen kann. Wie die Umdrehung dieſer vertikalen eiſernen Axe bewerkſtelligt wird, iſt wohl aus Fig. 226 ohne weitere Erklärung ſichtbar. Während der Rotation gehen nun die beiden Eiſenkerne unter den Polen mehrerer in horizontaler Lage über einander geſchichteter ſehr kräftiger Hufeiſenmagnete her, und jeder Eiſenkern

Fig. 227.



wird dadurch abwechselnd in einen Nordpol und dann wieder in einen Südpol verwandelt.

Die Windungen um beide Eisenkerne bilden natürlich ein einziges sehr langes Drahtstück. Das eine Ende des Drahtes ist mittelst einer Schraube auf einem eisernen Ringe *g* befestigt, welcher durch eine isolirende Substanz, festes Holz oder Elfenbein vor leitender Berührung mit der eisernen Umdrehungsaxe geschützt ist, wie dies Fig. 228 gezeigt ist. Das andere Drahtende ist nun ebenso auf der eisernen Platte aufgeschraubt, welche die beiden Eisenkerne trägt; also ist dieses zweite Drahtende mit der ganzen eisernen Umdrehungsaxe in leitender Verbindung.

Fig. 228.

Auf dieser eisernen Axe ist nun unmittelbar ein eiserner Cylinder *h* befestigt, den wir sogleich noch näher betrachten werden. Da nun der Eisenring *g* mit dem einen Drahtende, der Eisencylinder *h* mit dem andern in leitender Verbindung steht, so können wir gleichsam *g* und *h* für die Drahtenden selbst nehmen; die Inductionsspirale ist geschlossen, sobald *g* und *h* in leitender Verbindung sind, und sobald dies der Fall ist, wird der Inductionsstrom in den Drahtwindungen circuliren, wenn das ganze System in Rotation versetzt wird. Der Kürze wegen wollen wir das ganze rotirende System mit dem Namen des Inductors bezeichnen.

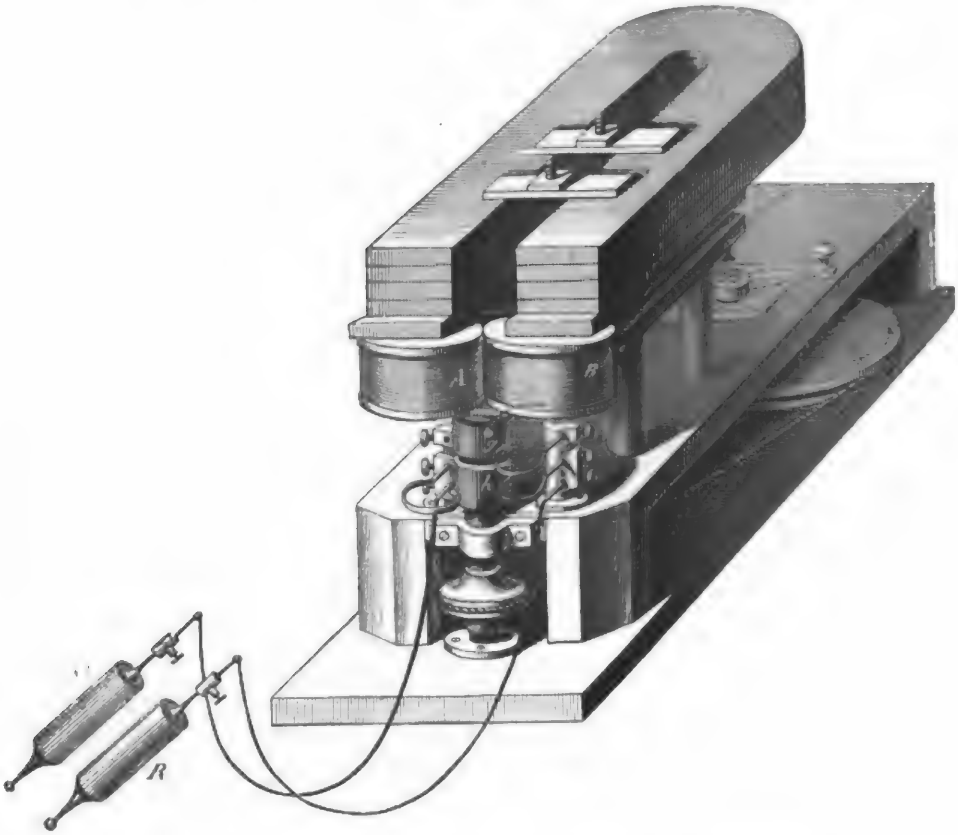
Wir haben jetzt noch den Eisencylinder *h* näher zu betrachten; er besteht aus drei über einander liegenden Abtheilungen, von denen nur die mittlere einen vollkommen ununterbrochenen Umfang hat. Am obern Theile befinden sich diametral gegenüberstehend zwei grubenartige Vertiefungen, an dem untern Ende von *h* aber ist ein Ausschnitt angebracht, welcher die Hälfte des Umfangs hinwegnimmt, wie man dies sehr deutlich aus unserer Figur sehen kann.

Auf jeder Seite der Rotationsaxe ist ein kleiner messingener Pfeiler mit mehreren Löchern angebracht, in welche metallene Federn eingeschraubt werden können, durch welche die Schließung der Kette auf mannigfaltige Weise hergestellt werden kann.

Unsere Figur stellt die Maschine dar, wie sie vorgerichtet seyn muß, um kräftige physiologische Wirkungen zu geben. Im obersten Loche der Säule rechts ist eine Feder eingeschraubt, welche während der Rotation des Inductors beständig auf dem Eisenringe *g* schleift; die Stahlfeder aber, welche in das zweite Loch derselben Säule eingeschraubt ist, schleift auf dem obern Theile des Eisencylinders *h*; auf diese Weise ist nun die Kette geschlossen; so oft aber das Ende der Stahlfeder über eine der beiden grubenförmigen Vertiefungen hinweggleitet, ist hier die Leitung unterbrochen. Und zwar findet diese Unterbrechung gerade dann Statt, wenn die Pole

des Inductors eben von den Magnetpolen abgeriſſen werden. Zwiſchen dem Eiſenringe *g* und dem Cylinder *h* beſteht aber noch eine andere Verbindung, in welche der menſchliche Körper eingeſchaltet werden kann. In dem Meſſingpfeiler links iſt nämlich eine meſſingene Feder eingeſchraubt, welche beſtändig auf dem mittleren Theile des Cylinders *h* ſchleift; durch dieſe iſt der kleine Meſſingpfeiler links ebenſo beſtändig mit *h* verbunden, wie *g* mit dem Pfeiler rechts. Mit dem Pfeiler links ſteht aber ein

Fig. 229.



metalliſcher Conductor *L*, mit dem Pfeiler rechts der Conductor *R* in leitender Verbindung; ſo oft alſo durch das Hinwegleiten der Stahlfeder über eine der grubenförmigen Vertiefungen dort der Strom unterbrochen wird, geht der Trennungsſchlag durch den Körper, denn nun gelangt der elektriſche Strom, der bis dahin von *h* durch die Stahlfeder unmittelbar auf den Pfeiler rechts überging, auf einem weitern Wege erſt auf den Pfeiler links, von dieſem zum Conductor *L*, durch den menſchlichen Körper nach *R* und von da erſt zum Pfeiler rechts. Wenn nun raſch gedreht

wird, so folgen die Trennungsschläge so schnell und heftig auf einander, daß man ihre Wirkung kaum aushalten kann. Will man die Intensität der Schläge schwächen, so hat man nur langsamer zu drehen oder die beiden Pole der inducirenden Magnete durch einen Anker von weichem Eisen zu verbinden.

Um kräftige physiologische Wirkungen zu erhalten, muß man einen Inductor gebrauchen, der aus einer großen Anzahl von Windungen eines dünnen Drahtes gebildet ist; der Draht ist bei solchen Inductoren nicht unmittelbar auf den Eisenkern, sondern auf eine Spule von Holz aufgewunden. Bei anderen Versuchen, bei welchen man einen Strom von größerer Quantität, aber geringerer Intensität nöthig hat, wendet man dagegen einen Inductor an, der aus wenigen Windungen eines dicken Drahtes gebildet ist; in diesem Falle ist der Draht unmittelbar auf die Eisenkerne gewunden. Man kann den einen Inductor den Intensitätsinductor, den andern den Quantitätsinductor nennen.

Die Maschine ist so eingerichtet, daß man die beiden Inductoren leicht gegen einander vertauschen kann.

Um kurze und dünne Metalldrähte glühend zu machen, wendet man den Quantitätsinductor an. Die bei dem vorigen Versuche gebrauchte Stahlfeder nimmt man dann weg, so daß der Pfeiler rechts nur durch eine Messingfeder mit *g*, der Pfeiler links aber durch eine gleiche Feder mit *h* in leitender Verbindung steht. In die untern Löcher der beiden Pfeiler wird dann die Fig. 230 dargestellte Scheere eingeklemmt, welche durch zwei dicke Kupferdrähte gebildet wird; da, wo die beiden Drähte um einander gewunden sind, müssen sie natürlich mit Seide umwickelt seyn; der zum Glühen bestimmte Draht wird zwischen *a b* ausgespannt. Der Strom geht von *n* durch den einen der beiden Kupferdrähte, dann durch den feinen Draht *a b* und darauf durch den andern Kupferdraht nach *m*.

Fig. 230.

Um starke Funken zu erzeugen, wendet man den Quantitätsinductor an und schraubt die beiden Federn in den Pfeiler rechts so an, wie die Figur zeigt, dagegen bleibt bei diesem Versuche die Feder links ganz weg. Wenn bei dieser Einrichtung der Conductor rasch gedreht wird, so beobachtet man an dem Ende der Stahlfeder ein lebhaftes Funkensprühen, welches von der bei jeder Umkehrung zwei Mal wiederkehrenden Unterbrechung des Stromes durch die grubenförmigen Vertiefungen herrührt.

Zu chemischen Zersetzungen wird der Intensitätsinductor angeschraubt.

Wenn die Federn ſo eingeklemmt ſind, wie die Figur 229 zeigt, die Stahlfeder aber wegbleibt, wenn alſo *g* mit dem Pfeiler rechts, *h* mit dem auf der linken Seite in leitender Verbindung ſteht, wenn ferner von dem Pfeiler rechts ein Metalldraht zu dem einen, von dem Pfeiler links ein Metalldraht zu dem andern Drahtende eines Waſſerzerſetzungsapparates führt, ſo iſt die Kette wirklich durch das Waſſer geſchloſſen, und wenn der Inductor rotirt, findet eine lebhafte Gasentwicklung Statt. Da aber nun die Richtung des Stromes fortwährend ſich ändert, ſo iſt klar, daß man die beiden Gaſe auf dieſe Weiſe nicht getrennt erhalten kann. In jedem der beiden Glöckchen wird ſich ein Gemenge von Waſſerſtoffgas und Sauerſtoffgas, alſo Knallgas, ausſcheiden.

Um beide Gaſe getrennt zu erhalten, muß man die an dem linken Pfeiler eingeklemmte Feder ſo richten, daß ſie nicht an den mittleren, ſondern an den untern Theil des Cylinders *h* anrührt; ferner muß man es ſo einrichten, daß die Spitze der Feder nicht an der Seite, ſondern von vorn her den Cylinder berührt; bei der in unſerer Figur dargeſtellten Lage des Inductors müßte alſo die Feder gerade da anrühren, wo der Ausſchnitt beginnt; wird nun die Kurbel in der Richtung des Pfeils gedreht, ſo wird während der erſten halben Umdrehung die Feder auf dem Cylinder *h* ſchleifen, während der folgenden halben Umdrehung aber wird die Verbindung durch den Ausſchnitt unterbrochen ſeyn. Es iſt begreiflich, daß unter dieſen Umſtänden der Strom immer in gleicher Richtung durch das Waſſer gehen wird, weil ſich der entgegengeſetzt gerichtete Strom der Unterbrechung wegen gar nicht bilden kann.

Es iſt ſchwer, die Feder ſo zu ſtellen, daß genau im richtigen Moment die Leitung unterbrochen iſt; ſehr leicht aber gelingt der Verſuch, wenn man die Feder mit der Hand an die richtige Stelle andrückt.

Um magnetiſche Wirkungen hervorzubringen, muß auf dieſelbe Weiſe dafür geſorgt ſeyn, daß der Strom nur in einer Richtung circuliren kann; übrigens muß zu dieſem Zwecke der Inductor mit dickem Drahte angeſchraubt werden.

101 **Magnetiſche Erſcheinungen, welche leitende Körper hervorbringen, wenn ſie ſich unter dem Einfluß von Magneten bewegen.** Die Entdeckung dieſer Erſcheinungen, welche Faraday erklärte, indem er ſie als ein Inductionsphänomen betrachtete, rührt von Arago her. Er fand nämlich, daß, wenn man unter einer leicht beweglichen Magnetnadel eine horizontale kupferne Scheibe rotiren läßt, alsdann die Nadel der Bewegung der Scheibe folgt, d. h. daß ſie ſich in derſelben Richtung um ihre Aufhängungsaxe umdreht wie die Scheibe.

Der Apparat, welchen Arago zu ſeinen Unterſuchungen anwandte, iſt

Fig. 232 bis Fig. 234 dargestellt. *h* Fig. 232 ist eine bis auf zwei oder drei stählerne Spitzen ganz von Kupfer oder Messing gearbeitete Uhr, welche auf einem sehr festen Dreifuße von Holz steht und mit Hülfe von Stellschrauben gehörig vertikal gestellt werden kann. Diese Uhr ist dazu bestimmt, einer vertikalen Axe x, Fig. 233, eine rasche Rotationsbewegung mitzu-

Fig. 232.

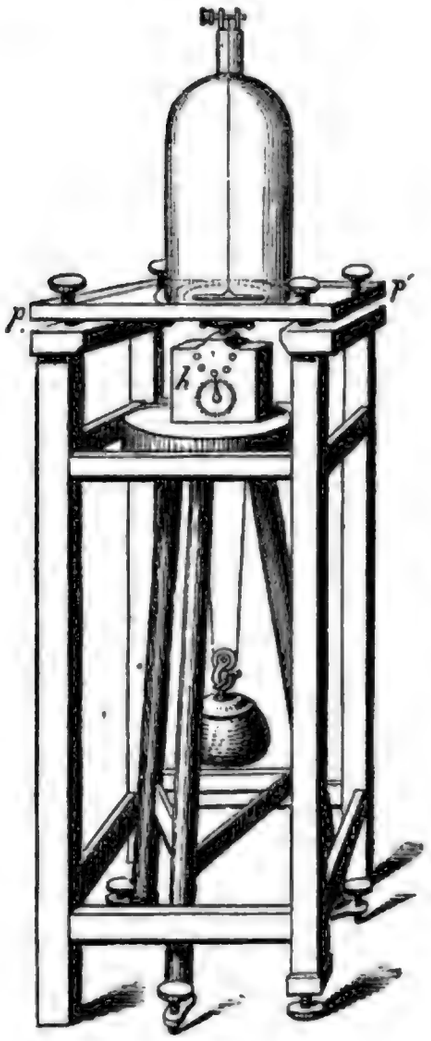


Fig. 233.

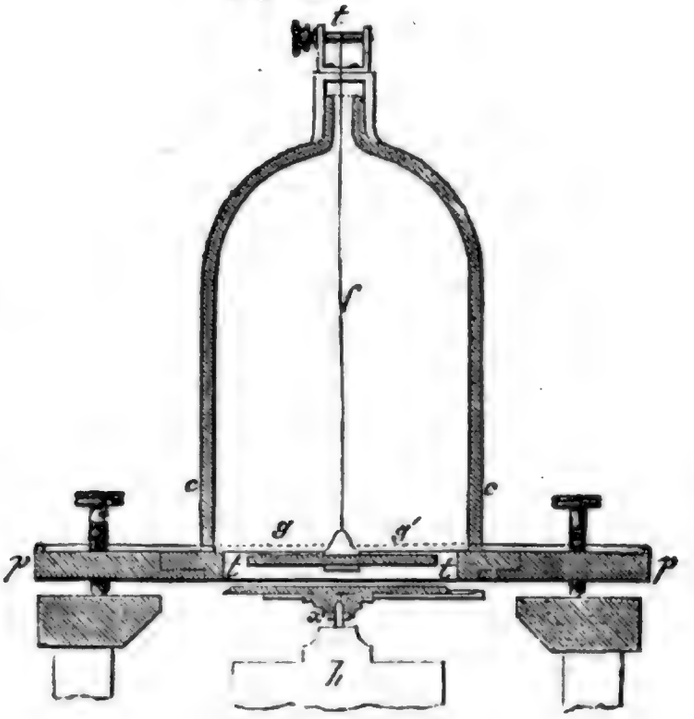
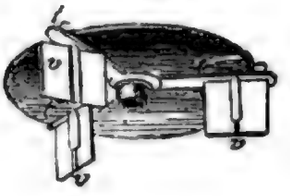


Fig. 234.



theilen. Die Axe theilt ihre Bewegung einem dreiarmigen Messingstücke $t\,t'$ mit, welches Fig. 234 deutlicher zu sehen ist; auf diesem Stücke werden die Platten befestigt, mit welchen die Versuche angestellt werden sollen. Die drei Flügel v kann man mehr oder weniger neigen, je nachdem man eine größere oder geringere Geschwindigkeit erreichen will. Um nun die Nadel der Einwirkung der drehenden Scheibe auszusetzen, wird über die Uhr ein vierfüßiger Tisch $p\,p'$ gesetzt, welcher in der Mitte eine Oeffnung hat, die etwas größer ist als die Scheibe; diese Oeffnung ist aber unten mit einem Blatt Papier verklebt. Auf den Tisch wird eine Glocke c gesetzt, in welcher die Nadel $g\,g'$ an einem Seidenfaden aufgehängt ist. Die Nadel kann durch Umdrehung der kleinen Welle t gehoben oder gesenkt werden.

Ein Bleigewicht setzt die Uhr in Bewegung. Ein Zeiger zeigt die Zahl der Umdrehungen an, deren 8 bis 10 in einer Sekunde seyn können; es ist auch eine Glocke angebracht, welche bei jedem Hundert schlägt; und so kann man leicht in jedem Augenblicke erkennen, ob die Umdrehungsgeschwindigkeit ziemlich gleichförmig geworden ist.

Die Erscheinungen, welche man mit diesem Apparate beobachtet, sind folgende. Wenn Alles in Ruhe ist, stellt sich die Nadel in den magnetischen Meridian. Nun läßt man die Bewegung beginnen; anfangs ist die Umdrehungsgeschwindigkeit sehr gering, sie nimmt aber rasch zu, und bald wird die Nadel in der Richtung abgelenkt, nach welcher sich die Scheibe dreht. Die Kraft aber, welche die Nadel fortzieht, wirkt der magnetischen Kraft der Erde entgegen, welche die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt; je nach dem Verhältnisse dieser beiden Kräfte findet eine bestimmte Gleichgewichtslage für die Nadel Statt. Die ablenkende Kraft der Scheibe wächst mit der Geschwindigkeit; bei einer geringen Geschwindigkeit wird also die Nadel z. B. eine Ablenkung von 10^0 erleiden und in dieser Lage stehen bleiben; bei einer größeren Geschwindigkeit wird die Ablenkung 20^0 betragen u. s. w. Man kann es auf diese Weise dahin bringen, daß die Nadel bei jeder beliebigen Neigung gegen den magnetischen Meridian von 0^0 bis 90^0 stehen bleibt, je nachdem man der Scheibe eine größere oder geringere constante Geschwindigkeit ertheilt. Sobald aber die Geschwindigkeit einmal groß genug ist, um die Nadel um mehr als 90^0 abzulenken, giebt es keine Ruhelage für die Nadel mehr, die Nadel dreht sich nun mit der Scheibe.

Die Intensität der Wirkung, welche die rotirende Scheibe auf die Nadel hervorbringt, nimmt mit der Entfernung ab, denn wenn noch eine continuirliche Rotationsbewegung der Nadel stattfindet, wenn sie ganz nahe über der Scheibe hängt, so erleidet sie bei gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe nur eine bestimmte Ablenkung, wenn sie gehoben wird, und zwar wird die Ablenkung um so geringer, je höher sich die Nadel über der Scheibe befindet.

Man kann die Umdrehung der Scheibe auch ohne Uhrwerk bewerkstelligen und dadurch den Apparat einfacher und weniger kostspielig machen.

Nimmt man statt des Kupfers Scheiben von einem andern Metall, so ist die Stärke der Wirkung nicht dieselbe; nach den Versuchen von Herschel und Babbage ist Folgendes die Wirkung der verschiedenen Metalle, wenn man die des Kupfers zur Einheit nimmt.

Kupfer . . .	1,00	Zink	0,13
Zinn	0,46	Antimon .	0,09
Blei	0,25	Wismuth .	0,02.

Silber scheint sehr stark, Gold sehr schwach zu wirken, Quecksilber steht in dieser Beziehung zwischen Antimon und Wismuth.

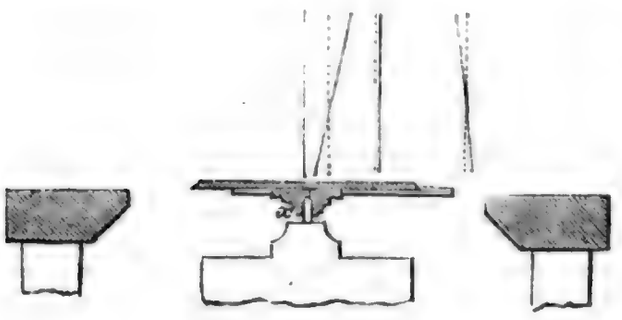
Dieselbe Kraft, welche die eben besprochene Wirkung hervorbringt, läßt sich in drei Componenten zerlegen. Die erste derselben ist rechtwinklig auf dem Radius der Scheibe, und sie ist es, deren Effect auf die angegebene Weise beobachtet wird.

Die zweite ist rechtwinklig auf der Ebene der Scheibe; ihr Vorhandenseyn wird dadurch nachgewiesen, daß man eine vertikal hängende Magnetnadel an einem Wagebalken befestigt. Diese Nadel wird immer abgestoßen, welcher Pol auch nach unten gekehrt sich über der rotirenden Scheibe in der Nähe ihres Randes befinden mag.

Die dritte wirkt in der Richtung der Halbmesser der Scheibe, und man erkennt ihre Wirkung auf folgende Weise. Man bringt eine Inclinationsnadel in eine solche Stellung, daß ihre Umdrehungsebene auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht, daß also die Nadel eine vertikale Stellung einnimmt; ferner muß die Umdrehungsebene der Nadel durch die Umdrehungsaxe der rotirenden Scheibe gehen. Wenn nun die Nadel in der erwähnten Ebene so steht, daß ihre Verlängerung nach unten außerhalb der Scheibe liegt, so wird die Nadel bei Umdrehung der Scheibe abgestoßen. Die abstoßende Kraft nimmt um so mehr ab, je mehr man die Nadel dem Mittelpunkte der Scheibe nähert; in einer bestimmten Entfernung vom Mittelpunkte ist sie Null; und wenn man dann die Nadel der Mitte der Scheibe noch mehr nähert, so findet eine Anziehung Statt, die im Mittelpunkte selbst wieder Null wird.

Auf jedem Halbmesser der Scheibe giebt es also einen Punkt, wo die Kraft, von der es sich hier handelt, Null ist; jenseits dieses Punktes wirkt sie abstoßend, diesseits, also der Mitte näher, wirkt sie anziehend, wie dies in Fig. 235 dargestellt ist, wo die punktirten Linien die ursprüngliche Richtung der Nadel bezeichnen.

Fig. 235.



Wenn die Scheibe in der Richtung der Radien eingeschnitten ist, so verliert sie einen großen Theil ihrer Wirksamkeit; wenn man aber die Einschnitte der kupfernen Scheibe nur am Rande mit einem beliebigen Metalle, selbst mit Wismuth, wieder zulöthet, so wird die verlorene Wirksamkeit fast vollständig wieder hergestellt. Füllt man aber die Zwischenräume mit stark gepreßtem metallischen Pulver oder mit Flüssigkeiten, wie Wasser oder Schwefelsäure,

so gelingt es nicht, den Verlust der Wirksamkeit auch nur wenig wieder zu ersetzen.

Herschel und Babbage haben auch noch folgende Thatsachen festgestellt: 1) daß Schirme nicht magnetischer Substanzen (d. h. welche nicht in der Weise magnetisch sind wie Eisen und Stahl) keinen Einfluß ausüben, wenn sie zwischen die Nadel und die rotirende Scheibe gebracht werden; 2) daß eine rotirende Scheibe eine ruhende durchaus nicht in Bewegung zu setzen vermag.

Barlow hat gezeigt, daß das Eisen, wenn es in Bewegung ist, in derselben Art, nur weit stärker, wirkt wie andere Metalle.

Diese Erscheinungen lassen sich nun dadurch erklären, daß der Magnet in der rotirenden Scheibe Ströme inducirt. Daß solche inducirte Ströme wirklich vorhanden sind, hat Faraday auf folgende Weise durch den Versuch nachgewiesen: Eine kupferne Scheibe, welche um eine horizontale Axe drehbar ist, wurde zwischen die beiden Pole eines Hufeisenmagneten gebracht, daß ihr oberer Rand in die Ebene der beiden Pole oder unter diese Ebene fällt; wenn man nun einen metallischen Collector oben an den amalgamirten Rand hält, der an dem einen Ende des Multiplicatordrahtes befestigt ist, den andern Multiplicatordraht aber mit der metallischen Axe verbindet, so weicht die Nadel des Multiplicators aus, sobald die Scheibe rotirt, und zwar hängt die Richtung der Ablenkung von der Richtung der Rotation ab; einmal nämlich zeigt die Nadel einen Strom an, welcher von der Mitte der Scheibe zum obern Rande geht, bei entgegengesetzter Drehungsrichtung einen Strom vom Rande nach der Mitte.

Fig. 236.

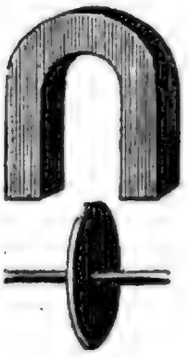


Fig. 237.

Es seyen Fig. 237 durch die beiden Quadrate die beiden Pole des Hufeisens, durch die Pfeile die Richtung der Ströme dargestellt, welche nach der Ampère'schen Theorie die beiden Pole bilden; man sieht, daß diese Ströme an beiden Polen an den einander zugekehrten Seiten, an den Seiten also, welche bei unserm Versuche der rotirenden Scheibe zugekehrt sind, gleiche Richtung haben. Wird nun die Scheibe so gedreht, daß ihr oberer Rand gleichfalls dieselbe Richtung hat wie der Strom des Magneten an der der Scheibe zugekehrten Seite, daß er sich also von *a* nach *b* bewegt, so zeigt der Multiplicator einen Strom an, welcher von der Mitte der Scheibe zum Rande geht; wenn aber die Richtung der Rotation der eben besprochenen entgegengesetzt ist, so geht der inducirte Strom vom Rande der Scheibe zur Mitte.

Wenn nun die metallene Axe mit dem Rande nicht mehr durch den Multiplicatordraht verbunden ist, so hört deshalb die Induction der Ströme in der Scheibe nicht auf; nur werden die Ströme, da sie nicht mehr durch den Multiplicatordraht gehen können, in der Scheibe selbst ihren Weg vollenden müssen. Die Scheibe wird also im ersten Falle so von Strömen durchlaufen, wie Fig. 236 zeigt, im letztern Falle in umgekehrter Richtung.

Fig. 238.

Die Richtung der inducirten Ströme, wie sie hier der Versuch angegeben hat, stimmt ganz mit dem oben angegebenen allgemeinen Inductionsgesetze überein.

Wenn statt der beiden Pole des Hufeisenmagneten nur einer gewirkt hätte, so würde die Erscheinung bis auf die Intensität der Wirkung ganz dieselbe gewesen seyn.

Wenden wir dies auf den Fall an, daß ein horizontaler Magnet über einer horizontalen rotirenden Kupferscheibe sich befindet. Nehmen wir an, die Ströme, welche den Magneten bilden, hätten eine solche Richtung, daß sie an der untern der Platte zugekehrten Seite des Stabes von der Linken zur Rechten gehen, und daß die Scheibe in der Richtung der Pfeile gedreht werde; so wird der eben besprochenen Erfahrung zufolge der Pol *a* Ströme induciren, welche von der Mitte der Scheibe zum Rande, der andere Pol aber solche, welche vom Rande nach der Mitte gehen, kurz, es wird ein System von Strömen inducirt, wie es Fig. 239 darstellt. Die Rückwirkung dieser Ströme auf die Nadel bringt aber die oben besprochene Rotation derselben hervor.

Fig. 239.

Auch durch den Erdmagnetismus werden in rotirenden Scheiben elektrische Ströme inducirt.

Wenn eine horizontale Magnetnadel über einer Kupferscheibe rotirt, so äußert sie ein Bestreben, die Scheibe in gleicher Richtung zu drehen; wenn aber die Kupferscheibe diesem Antriebe nicht folgen kann, so wirken offenbar die inducirten Ströme hemmend auf die Bewegung der Nadel. Darauf beruht die Anwendung von kupfernen Scheiben, welche man in Multiplicatoren unter den Magnetnadeln anbringt; es wird dadurch bewirkt, daß die oscillirende Nadel leichter zur Ruhe kommt.

Fünfte Abtheilung.

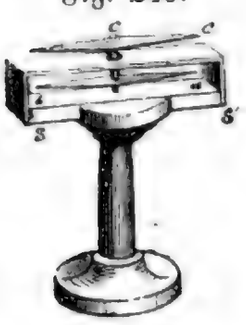
Thermoelektrische Ströme und thierische Elektricität.

102 Weil ein elektrischer Strom nichts anderes ist als die Wiedervereinigung der entgegengesetzten elektrischen Flüssigkeiten, so ist klar, daß alle Ursachen, welche überhaupt Elektricität erzeugen, auch im Stande sind, elektrische Ströme hervorzubringen; denn immer werden ja die beiden Elektricitäten zu gleicher Zeit und in gleichem Maaße entwickelt, und da nun ferner jede der beiden Flüssigkeiten ein Bestreben hat, sich mit ihrem Gegensatze zu verbinden, so reicht es hin, diese Wiedervereinigung möglich zu machen, um einen elektrischen Strom hervorzubringen. Man sollte denken, daß das Umgekehrte auch immer stattfände, d. h. daß man nur irgend einen Strom zu unterbrechen brauche, um die beiden entgegengesetzten Elektricitäten im Zustande der Ruhe und der Spannung zu erhalten. Allerdings ist dies auch stets der Fall, meistens aber ist die Spannung so gering, daß es schwer hält, die Existenz dieser freien Elektricität durch den Versuch nachzuweisen.

Außer den bisher betrachteten giebt es demnach noch mancherlei Quellen elektrischer Ströme; so können z. B. Druck, Reibung, Spaltung u. s. w. elektrische Ströme veranlassen. Auch durch Wärme werden elektrische Ströme erzeugt, welche von Seebeck in Berlin entdeckt und von ihm thermoelektrische Ströme genannt wurden.

Wenn zwei Metallstäbe so zusammengelöthet sind, daß sie eine geschlossene Kette von beliebiger Form bilden, so entsteht ein mehr oder minder starker Strom, so oft die beiden Löthstellen verschiedene Temperatur haben, und der Strom dauert so lange fort, als der Temperaturunterschied unterhalten wird.

Fig. 240.



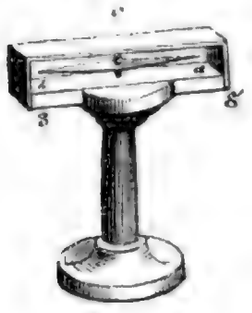
Es läßt sich dies für einen speciellen Fall mit dem Apparate Fig. 240 nachweisen. $s\,s'$ ist ein Stäbchen von Wismuth, $s\,c\,s'$ ein Streifen von Kupfer, welcher an die Enden des Wismuthstäbchens angelöthet ist; $a\,b$ ist eine auf einer Spitze frei spielende Magnetnadel. Wenn die beiden Löthstellen noch die Temperatur der umgebenden Luft haben,

wird der Apparat so gestellt, daß die Ebene des Vierecks $s\ c\ s'$ in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, daß also die Nadel mit der Axe und den Längenkanten des Wismuthstäbchens parallel steht; sobald nun eine der Löthstellen, etwa s, erwärmt wird, erleidet die Nadel eine mehr oder weniger bedeutende Ablenkung; erkaltet man aber dieselbe Löthstelle s unter die Temperatur der umgebenden Luft, so beobachtet man eine Ablenkung nach entgegengesetzter Richtung.

Diese Ablenkungen der Nadel bald nach der einen, bald nach der andern Richtung zeigen offenbar einen elektrischen Strom an, welcher den Apparat in einer bestimmten Richtung durchkreis't, wenn die Löthstelle s wärmer ist als s'; in der entgegengesetzten aber, wenn die Löthstelle s kälter ist als die Löthstelle s'.

Nicht alle Metalle geben so in die Augen fallende Resultate wie Wismuth und Kupfer; alsdann aber muß man statt einer einzigen Nadel ein System von zwei compensirten Nadeln anwenden, wie man es Fig. 241 sieht. Der obere Streifen $s\ c\ s'$ hat in der Mitte eine Oeffnung, damit das Verbindungsstück der beiden Nadeln hindurchgehe; die Spitze aber, auf welcher das System der beiden Nadeln spielt, erhebt sich bis zur obern Nadel.

Fig. 241.



Es ist nicht gerade nöthig, daß man einen besondern Apparat der Art hat, wie der Fig. 241 abgebildete, um den thermoelektrischen Fundamentalversuch zu machen, man kann dazu jede gehörig leicht

Fig 242.

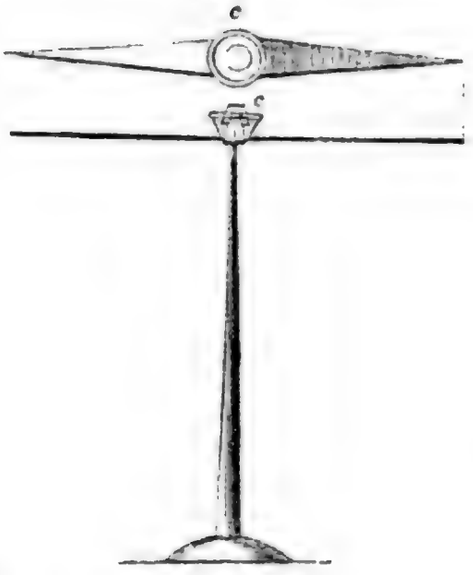
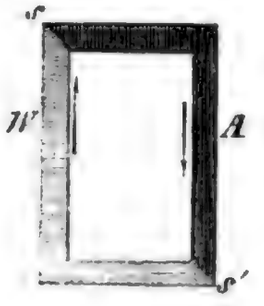


Fig. 243.



bewegliche Compasnadel, etwa die Fig. 242 abgebildete, anwenden. Als thermoelektrisches Element wendet man gewöhnlich ein längliches Rechteck, Fig. 243, an, welches aus Wismuth und Antimon zusammengesetzt ist; in der Figur bezeichnet die hellschattirte Hälfte Wismuth, die andere Antimon. Diese beiden Metalle sind bei s und s' zusammengelöthet. Um den Ver-

such zu machen, erwärmt man vorsichtig die eine Löthstelle über einer kleinen Weingeistlampe und hält dann die eine der längeren Seiten des Rechtecks gerade über die sich noch in ihrer gewöhnlichen Lage befindliche Magnetnadel. Es ist hier noch zu bemerken, daß Fig. 243 in einem kleinern Maaßstabe gezeichnet ist als Fig. 242; man muß das Rechteck aus Wismuth und Antimon, doch so groß machen, daß jede der längeren Seiten wenigstens die Länge der Magnetnadel hat.

Haufig haben die einfachen thermoelektrischen Ketten auch die Fig. 244 dargestellte Einrichtung. *a b* ist ein Stäbchen von Antimon oder Wismuth, an dessen beiden Enden ein Kupferdraht *a e d c* angelöthet ist. Um den Versuch zu machen, wird die eine Löthstelle bei *a* oder bei *b* erwärmt und das Drahtstück *e d* über die Nadel gehalten.

Fig. 244.

In vielen Fällen muß man, um die thermoelektrischen Ströme nachzuweisen, den Multiplicator zu Hülfe nehmen; die thermoelektrischen Multiplicatoren haben aber weniger Windungen und sind aus dickerem Drahte construirt als die gewöhnlichen. Wenn man mit den beiden Enden des Kupferdrahtes eines solchen Multiplicators ein Stück Wismuth oder Antimon berührt, so erhält man schon eine bedeutende Ablenkung der Nadel, wenn auch nur eine ganz geringe Temperaturdifferenz zwischen den beiden Berührungsstellen stattfindet.

Um mit Hülfe des Thermomultiplicators die thermoelektrischen Ströme zu untersuchen, welche irgend zwei Metalle mit einander geben, wie z. B. Eisen und Platin, reicht es hin, ein Stück Platindraht durchzuschneiden und jedes Stück an dem einen Ende des Multiplicatordrahtes zu befestigen, so daß ein vollkommen metallischer Contact zwischen Platin und Kupfer besteht. Ist diese Einrichtung getroffen, so ist es gerade so gut, als ob der ganze Multiplicatordraht von Platin wäre, vorausgesetzt, daß die beiden Berührungsstellen zwischen dem Kupfer- und Platindraht ganz gleiche Temperatur haben; man braucht dann nur zwischen den beiden Platinenden ein Stück Eisendraht anzubringen und die eine Berührungsstelle zwischen Platin und Eisen zu erwärmen, während die andere kalt bleibt, so erhält man den thermoelektrischen Strom, welcher von der Temperaturdifferenz zwischen den beiden Stellen herrührt, in welchen sich Platin und Eisen berühren.

Wenn man verschiedene Metalle diesem Versuche unterwirft, so findet man, daß die Combination je zweier Metalle in dieser Hinsicht sehr ungleich empfindlich sind, je nachdem man verschiedene Metalle wählt; denn

während irgend zwei Metalle einen kräftigen Strom geben, geben zwei andere unter ganz gleichen Verhältnissen nur einen außerordentlich schwachen Strom.

Die Untersuchungen, die man über das gegenseitige Verhalten verschiedener Metalle in Beziehung auf die Erregung thermoelektrischer Ströme gemacht hat, haben gezeigt, daß sich die Metalle in eine Reihe zusammenstellen lassen, welche die Eigenschaft hat, daß, wenn man aus je zwei Metallen dieser Reihe eine Kette bildet und an der einen Berührungsstelle erwärmt, an dieser erwärmten Löthstelle der positive Strom von dem in der Reihe tiefer stehenden Metall zu dem höher stehenden übergeht.

Antimon	Zinn
Arsenik	Silber
Eisen	Mangan
Zink	Kobalt
Gold	Palladium
Kupfer	Platin
Messing	Nickel
Rhodium	Quecksilber
Blei	Wismuth.

In dem Apparate Fig. 240 geht also, wenn die Löthstelle bei *s* erwärmt ist, der Strom in der Richtung von *s* über *c* nach *s'* und dann nach *s* zurück; an der erwärmten Berührungsstelle *s* ist also das in der Reihe höher stehende Kupfer positiv gegen das tiefer stehende Wismuth. In dem Rechteck Fig. 243 circulirt der positive Strom in der Richtung der Pfeile, wenn die Löthstelle bei *s* wärmer ist.

Becquerel hat beobachtet, daß bei sehr hohen Temperaturen Platin und Eisen ihre Rolle umkehren, diese Umkehrung scheint aber nicht constant zu seyn; denn bei einer großen Anzahl von andern Versuchen wurde nichts der Art beobachtet.

Wenn man eine geschlossene aus einem einzigen homogenen Metalle construirte Kette an irgend einer Stelle erwärmt oder erkaltet, so können gleichfalls unter gewissen Umständen starke Ströme entstehen.

Wismuth und Antimon scheinen unter allen Metallen am meisten geeignet, diese merkwürdige Erscheinung zu zeigen. Nimmt man z. B. irgend ein Stück Antimon von beliebiger Form und bringt über demselben eine leicht bewegliche kleine Magnetnadel an, so findet man immer auf der Oberfläche des Stücks mehrere Punkte, welche, wenn sie erwärmt werden, eine merkliche Ablenkung der Nadel nach der einen oder der andern Seite bewirken. Auch diese Beobachtung rührt von Seebeck her.

Mehrere Physiker haben diese merkwürdige Erscheinung näher untersucht. Yelin, Cumming und Sturgeon haben sich besonders bemüht, den Stücken Wismuth und Antimon eine regelmäßige Gestalt zu geben, aus diesen Metallen rechtwinklige, elliptische, kreisförmige u. s. w. Ketten zu bilden, um die wirksamsten Punkte zu ermitteln und die Richtung des Stromes zu bestimmen, welchen eine Erwärmung oder Erkaltung dieser Punkte zur Folge hat. Bis jetzt ist es jedoch nicht gelungen, irgend eine allgemeine Thatsache, sowohl in Beziehung auf die Richtung, als auf die Stärke dieser eigenthümlichen Ströme, aufzufinden; denn ganz ähnliche Ketten von verschiedener Größe geben fast immer entgegengesetzte Resultate.

Einige Physiker schreiben diese Wirkungen krystallinischen Gruppen zu, welche sich beim Erkalten des Metalls bilden und welche eine nach allen Seiten gleichförmige Verbreitung der Wärme verhindern. Diese Meinung hat allerdings eine große Wahrscheinlichkeit für sich; um sie übrigens genügend zu begründen, wären doch noch directe Beobachtungen nöthig.

Becquerel hat dieser sonderbaren Thatsache eine größere Ausdehnung gegeben; er zeigte nämlich, daß dieselbe Erscheinung auch an einem Platindrahte stattfindet, und indem er die wesentlichsten Umstände ausfindig machte, welche die Resultate modificiren, hat er in dieser Beziehung folgendes Princip aufgestellt: wenn ein Platindraht eine geschlossene Kette bildet, und wenn sich an irgend einer Stelle desselben ein Hinderniß befindet, welches im Stande ist, die Fortpflanzung der Wärme zu verzögern, so entsteht, wenn man den Draht in der Nähe dieser Stelle erwärmt, ein Strom, welcher von der Stelle der Erwärmung nach jenem Hindernisse hin gerichtet ist.

Wenn man also die beiden Enden eines Platindrahtes mit den Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung setzt und dafür sorgt, daß diese beiden Berührungsstellen zwischen Kupfer und Platin stets auf derselben Temperatur erhalten werden, um zu verhindern, daß gewöhnliche thermoelektrische Ströme sich bilden, so erhält man einen von *a* nach *b* gerichteten Strom, Fig. 245, wenn man bei *a* erwärmt und der Draht bei *b* schraubenförmig gewunden ist oder nur einen einfachen Knoten hat.

Fig. 245.

Man erhält dieselben Wirkungen mit Kupferdraht, wenn er ein wenig oxydirt ist. Nobili hat indessen mit Metallen, die noch leichter oxydirbar sind, wie Zink, Eisen und Antimon, Ströme in entgegengesetzter Richtung erhalten (Bibl. univ. de Genève T. 27, p. 118).

103 **Thermoelektrische Säulen.** So wie man mehrere Volta'sche Elemente, so kann man auch mehrere thermoelektrische Elemente zu einer

thermoelektrischen Säule vereinigen, welche einen Strom geben, wenn man die Löthungsstellen 1, 3, 5 u. s. w. erwärmt, während die dazwischenliegenden kalt bleiben.

Das Ohm'sche Gesetz findet auch bei thermoelektrischen Strömen seine Anwendung. Um die Gesetze der Elektricitätsentwickelung in thermoelektrischen Säulen zu untersuchen, kann man eine Säule der Art anwenden, wie sie Fig. 246 und Fig. 247 dargestellt ist, und zwar von 8, von 24 oder 32 Wismuth-Kupferpaaren. Fig. 248 stellt zwei dieser Elemente dar. Glasgefäße, welche abwechselnd mit Eis und warmem Wasser gefüllt sind, dienen dazu, die kalten Löthstellen auf 0°, die warmen auf 60° bis 80° zu erhalten. Eine kleine Magnetnadel, welche an einem Seidenfaden aufgehängt ist, wird über die Mitte eines Kupferelements gehalten und giebt durch ihre Oscillationen die Intensität des in der Säule circulirenden Stromes an.

Fig. 246.

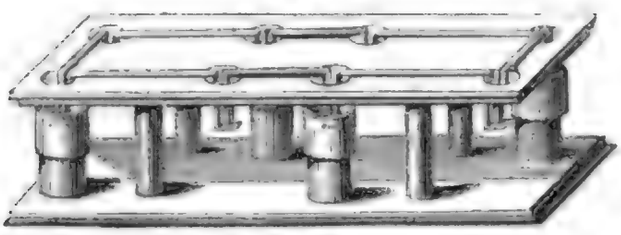


Fig. 247.

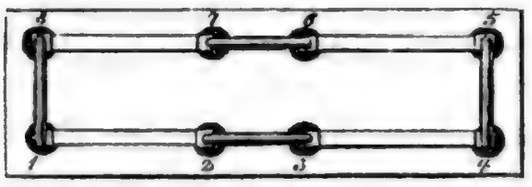


Fig. 248.

Man kann auf diese Weise sehr genau den allgemeinen Satz bestätigen, den schon Oersted und Fourier ausgesprochen hatten, daß die Stärke des Stroms in einer solchen Kette der Anzahl der in Thätigkeit gesetzten Elemente proportional ist, dann aber auch noch, daß, welches auch die Anzahl der Elemente seyn mag, unter sonst gleichen Umständen die Stromstärke dieselbe ist, wenn nur alle Elemente der Kette in Thätigkeit gesetzt werden. Eine Säule von 32 Elementen giebt also einen eben so starken Strom wie eine Säule von 24, von 8, ja nur von einem einzigen solchen Element, wenn nur die Temperaturdifferenz an den Löthstellen dieselbe ist. Es geht daraus hervor, daß, wenn man nur ein einziges Paar einer Säule von 16 Paaren in Thätigkeit setzt, die Stromstärke 16mal geringer seyn wird als der Strom, den dieses Paar für sich allein geben kann. Es ist dies eine neue Bestätigung des allgemeinen Gesetzes, daß die Stromstärke sich umgekehrt verhält wie die Länge der Kette.

Die eben besprochenen Säulen sind dazu construirt, die Fundamental-

gesetze thermoelektrischer Ströme nachzuweisen; ihrer großen Masse und ihres Volumens wegen sind sie aber nicht geeignet, um an einem eingeschalteten Multiplicator schon bei ganz geringer Temperaturdifferenz der Löthstellen eine Ablenkung der Nadel hervorzubringen. Unter allen zu diesem Zwecke construirten Säulen ist unstreitig die von Nobili angegebene die sinnreichste und empfindlichste; sie ist Fig. 249 dorgestellt. Sie ist aus

Fig. 249.

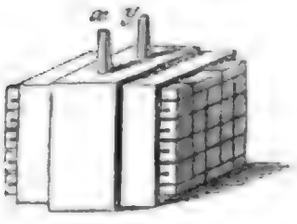


Fig. 250.

25 bis 30 sehr feinen Nadeln von Wismuth und Antimon zusammengesetzt, welche ohngefähr 4 bis 5 Centimeter lang sind. Sie sind zusammengelöthet, wie man Fig. 250 sieht, nämlich so, daß alle paarigen Löthstellen auf der einen, alle unpaarigen auf der andern Seite sich befinden. Das Ganze bildet einen kleinen compacten und festen Bündel, wegen der isolirenden Substanzen, mit denen die Zwischenräume zwischen den einzelnen Stäbchen ausgefüllt sind, denn sie dürfen sich natürlich nur an den Löthstellen berühren. Das eine der beiden Halbelemente endlich, mit denen die Kette endigt, ist mit dem Stift x, das andere mit dem Stift y in Verbindung, und diese Stifte bilden auf diese Weise die beiden Pole der Säule, und mit ihnen werden die Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung gebracht.

Wenn die Leitungsfähigkeit des Wismuths und des Antimons bekannt wäre, so könnte man leicht die Länge eines Kupferdrahtes von gegebener Dicke berechnen, welcher einen der Säule gleichen Leitungswiderstand ausübt, und danach bestimmen, wie lang der Multiplicatordraht gemacht werden müßte, um die möglichste Empfindlichkeit zu erlangen. In Ermangelung dieser directen Methode haben einfache Versuche dahin geführt, einen Multiplicator von hinlänglicher Empfindlichkeit zu construiren. Wir werden in dem Kapitel von der strahlenden Wärme die schönen Untersuchungen kennen lernen, welche Melloni mit Hülfe dieses Apparates gemacht hat, dem er den Namen eines Thermo-Multiplicators gab.

104 **Thierische Elektricität.** Man weiß schon seit langer Zeit, daß der Zitterrochen die Eigenschaft hat, der Hand, die ihn angreift, lähmende Schläge zu ertheilen; manchmal sind die Schläge so stark, daß sie in dem ganzen Arm eine schmerzhafte Lähmung hervorbringen, welche mehrere Minuten dauert; die Empfindung, welche diese Schläge hervorbringen, kann am besten mit derjenigen verglichen werden, welche ein Stoß an den Ellenbogen oft veranlaßt. Um diese Wirkungen zu erklären, nahm man früher an, daß der Zitteraal lähmende Molekule aussende, daß er wie eine Feder wirke, welche losgeschnellt, oder wie ein in Vibrationen befindlicher

tönender Körper (Réaumur Academie des Sciences 1714). Als aber Muſſchenbroeck zum Erſtenmale den Schlag einer Leydner Flaſche verſpürt hatte, hatte er die glückliche Idee, ihn mit dem Schlage des Zitterrochens zu vergleichen und ſo zwei Erſcheinungen, deren Urſprung ganz verſchieden ſchien, auf eine gemeinſchaftliche Urſache zurückzuführen. Nun wurde auch der Zitteraal und ähnliche Fiſche, die man Zitterfiſche genannt hatte, mit dem richtigeren Namen elektriſche Fiſche bezeichnet.

Zu den bis jetzt genauer bekannten elektriſchen Fiſchen gehören 1) aus der Familie der Rochen, die Zitterrochen, Torpedo narke, sive marmorata, Torpedo galvanii und Narcine brasiliensis. 2) Aus der Familie der Aale, der Zitteraal, Gymnotus electricus, der Zitterwels, Malapterurus (Silurus) electricus. Die beiden Arten von Torpedo finden ſich im mittelländiſchen Meere und in dem atlantiſchen Ocean, ſelten in der Nordſee; die Zitteraale in den Landſeen von Südamerika, beſonders in Guyana, der Zitterwels im Nil, dem Niger und in anderen africaniſchen Flüſſen.

Nach älteren Nachrichten ſollen noch Rhinobatus electricus, Tetrodon electricus und Trichiurus electricus elektriſche Eigenſchaften haben, doch ſind wohl dieſe Angaben noch als ſehr problematiſch anzuſehen.

Welches aber iſt die Quelle der großen Menge von Elektricität, welche dieſe Fiſche geben können? Es iſt dies eine Frage vom höchſten Intereſſe, auf welche wir aber nicht im Stande ſind, eine auch nur einigermaßen genügende Antwort zu geben. Ohne uns alſo auf dieſe Frage weiter einzulaſſen, müſſen wir uns damit begnügen, die wichtigſten Erſcheinungen zu betrachten, welche man an dieſen Fiſchen beobachtet hat.

Eigenſchaften des Zitterrochens. Die erſten einigermaßen genauen 105
Unterſuchungen über die elektriſchen Wirkungen des Zitterrochens ſind von Walſh angeſtellt worden. Er ſtellte ſeine Verſuche im Jahre 1772 zu La Rochelle und der Inſel Re an (Journal de Physique T. IV, p. 205) und erhielt folgende Reſultate:

Wenn ſich der Zitterrochen in der Luft befindet, ſo erhält man einen Schlag, wenn man direct irgend einen Theil ſeiner Haut entweder nur mit einem Finger oder auch mit der ganzen Hand berührt.

Eben ſo erhält man einen Schlag, wenn man das Thier mit einem guten Leiter, etwa einem Metallſtab, berührt, welcher mehrere Fuß lang iſt.

Der Schlag wird durch jeden ſchlechten Leiter aufgehalten, man kann alſo ungeſtraft das Thier mit einem Glasſtab oder einer Harzſtange anfaſſen.

Man kann den Fiſch ohne Gefahr ſelbſt mit einem Streifchen Zinn berühren, welches auf eine Glasröhre geklebt iſt und in welchem nur eine ganz kleine Unterbrechung gemacht iſt, wie man ſie etwa mit der Spitze eines Federmeſſers ritzen kann.

Wenn ſich mehrere Perſonen die Hände geben und die erſte den Fiſch anrührt, ſo fühlt auch noch die zweite, ſelbſt die dritte den Schlag, doch nimmt er an Intenſität ab.

Der Schlag iſt noch in einer Kette von 20 Perſonen fühlbar, welche ſich die Hände geben, wenn die erſte den Fiſch am Leib, die letzte am Rücken anfaßt.

Im Waſſer ſind die Schläge immer weniger intenſiv als in der Luft, man erhält ſie aber auf dieſelbe Weiſe und unter denſelben Bedingungen. Da das Waſſer ein ziemlich guter Leiter iſt, ſo begreift man, daß ein kräftiger Zitterrochen in die Ferne wirken kann, und daß es nicht mehr nöthig iſt, ihn direct zu berühren. Walſh hat in der That beobachtet, daß der Zitterrochen auf einige Entfernung hin kleine Fiſche erſchlägt, oder wenigſtens betäubt.

Wenn der Zitterrochen einen Schlag giebt, ſo iſt es ſtets ein willkürlicher Act; manchmal kann man ihn mehreremal hinter einander ohne Erfolg berühren, wenn man ihn aber reizt, indem man ihn in die Floßfedern kneift, ſo kann man faſt immer ſicher ſeyn, verſtärkte Schläge zu erhalten. Walſh hat manchmal an funfzig Entladungen in einer Minute gezählt.

J. Davy hat zuerſt die Identität der Elektricität des Zitterrochens mit der Reibungs- und Berührungselektricität factiſch dargethan, indem er mittelſt derſelben Stahlnadeln magnetiſirte, die Magnetnadel ablenkte und chemiſche Wirkungen hervorgebrachte.

Becquerel und Breſchet haben mehrere intereſſante Beobachtungen an Zitterrochen von Chioggia nahe bei Venedig gemacht (Becquerel T. 4, p. 364). Sie haben z. B. mit Hülfe eines guten Galvanometers dargethan, daß der poſitive Strom immer vom Rücken durch das Galvanometer zum Bauch geht; ſie haben auch von Neuem beſtätigt, daß der Zitterrochen willkürlich an den verſchiedenen Stellen ſeines Körpers Schläge geben kann.

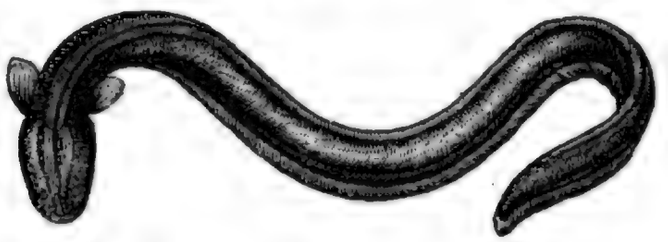
Matteucci, welcher ebenfalls intereſſante Verſuche über die Zitterrochen des adriatiſchen Meeres gemacht hat, iſt dahin gelangt, durch die Elektricität dieſer Thiere vollkommen ſichtbare Funken zu erhalten. Er applicirte zu dieſem Zweck zwei metalliſche Armaturen, die eine auf dem Rücken, die andere auf dem Bauch des Fiſches; mit jeder dieſer Armaturen ſetzte er ein Goldblättchen in Verbindung und brachte dann die beiden Goldblättchen ſehr nahe an einander; ſo oft nun das Thier gereizt wurde, ſprang ein Funken zwiſchen den Goldblättchen über.

Matteucci fand auch die ſchon von Becquerel und Breſchet gemachte Beobachtung beſtätigt, daß der Rücken poſitiv, der Bauch negativ elektriſch iſt.

Auch Linari hat in der neuesten Zeit diese Untersuchungen mit Erfolg fortgesetzt, er hat ebenfalls Funken zu gewinnen gewußt und an einem empfindlichen Condensator Zeichen elektrischer Spannung erhalten. Faraday fand alle diese Wirkungen bestätigt und hat überdies noch durch diese Elektricität Drähte erhitzt.

Eigenschaften des Zitteraals. Der Zitteraal, Fig. 251, welcher 106
auch der furinamische Aal genannt wird, hat eine noch weit größere

Fig. 251.



elektrische Kraft als der Zitterrochen. Walsh ließ sich Gymnoten von Surinam kommen, mit welchen er die Resultate bestätigte, die er einige Jahre vorher an dem Zitterrochen erhalten hatte; er machte aber außerdem noch die wichtige Beobachtung, daß sich der Schlag des Zitteraals von einem Leiter zu einem andern durch eine dünne Luftschicht hindurch fortpflanzen kann und daß man in diesem Falle einen elektrischen Funken überspringen sieht (Journal de Physique T. VIII. p. 305).

Humboldt hat in Amerika gemeinschaftlich mit Bonpland eine Menge Versuche mit Zitteraalen gemacht; wir wollen hier anführen, was er in seinem Werke über die eigenthümliche Lebensart dieser Fische und über die Art sagt, wie sie gefangen werden.

»— Aber nicht die Krokodile und der Jaguar allein stellen den südamerikanischen Pferden nach; auch unter den Fischen haben sie einen gefährlichen Feind. Die Sumpfwasser von Bera und Rastro sind mit zahllosen elektrischen Aalen gefüllt, deren schleimiger, gelbgefleckter Körper aus jedem Theile die erschütternde Kraft nach Willkür aussendet. Diese Gymnoten haben 5 bis 6 Fuß Länge. Sie sind mächtig genug, die größten Thiere zu tödten, wenn sie ihre nervenreichen Organe auf einmal in günstiger Richtung entladen. Die Steppenstraße von Uritucu mußte einst verändert werden, weil sie sich in solcher Menge in einem Flüßchen angehäuft hatten, daß jährlich vor Betäubung viele Pferde in der Fuhrt ertranken. Auch fliehen alle anderen Fische die Nähe dieser furchtbaren Aale. Selbst den Angelnden am hohen Ufer schrecken sie, wenn die feuchte Schnur ihm die Erschütterung aus der Ferne zuleitet. So bricht elektrisches Feuer tief aus dem Schoße der Gewässer aus.

Ein malerisches Schauspiel gewährt der Fang der Gymnoten. Man

jagt Maulthiere und Pferde in einen Sumpf, den die Indianer eng umzingeln, bis der ungewohnte Lärmen die muthigen Fische zum Angriffe reizt. Schlangenartig sieht man sie auf dem Wasser schwimmen und sich, verschlagen, unter den Bauch der Pferde drängen. Von diesen erliegen viele unter der Stärke unsichtbarer Schläge. Mit gesträubter Mähne, schnaubend, wilde Angst im funkelnden Auge, fliehen andere das tobende Ungewitter. Aber die Indianer, mit langen Bambusstäben bewaffnet, treiben sie in die Mitte der Lache zurück.

Allmälig läßt die Wuth des ungleichen Kampfes nach. Wie entladene Wolken zerstreuen sich die ermüdeten Gymnoten. Sie bedürfen einer langen Ruhe und einer reichlichen Nahrung, um zu sammeln, was sie an galvanischer Kraft verschwendet haben. Schwächer und schwächer erschüttern nun allmälig ihre Schläge. Vom Geräusche der stampfenden Pferde erschreckt, nahen sie sich furchtsam dem Ufer, wo sie durch Harpunen verwundet und mit dürrem, nicht leitendem Holze auf die Steppe gezogen werden.

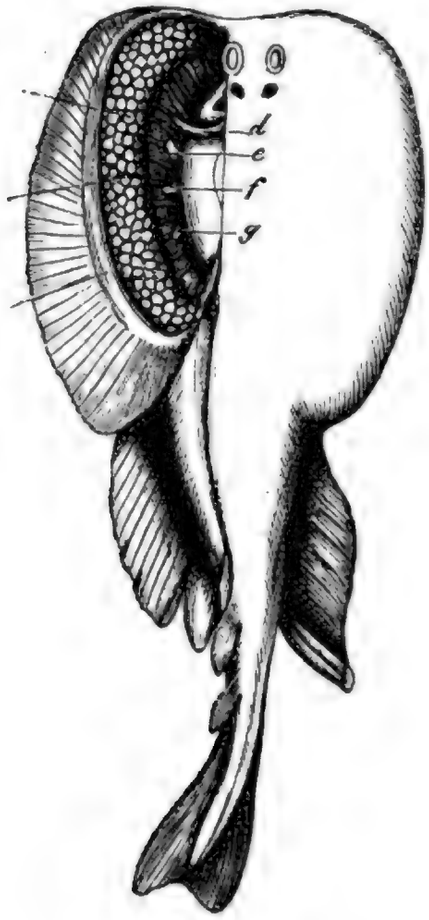
Dies ist der wunderbare Kampf der Pferde und Fische. Was unsichtbar die lebendige Waffe dieser Wasserbewohner ist, was, durch die Berührung feuchter und ungleichartiger Theile erweckt, in allen Organen der Thiere und Pflanzen umtreibt, was die weite Himmelsdecke donnernd entflammt, was Eisen an Eisen bindet und den stillen wiederkehrenden Gang der leitenden Nadel lenkt, Alles, wie die Farbe des getheilten Lichtstrahls, fließt aus Einer Quelle; Alles schmilzt in eine ewige, allverbreitende Kraft zusammen.«

107 **Vom elektrischen Organ.** Das Organ, in welchem sich die Elektricität entwickelt, hat bei den verschiedenen elektrischen Fischen im Wesentlichen dieselbe Textur, dasselbe Ansehn, obgleich seine Gestalt, seine Größe und seine Anordnung verschieden ist. Wir wollen nun versuchen, eine Idee von dem Organe des Zitterrochens zu geben, welches am genauesten untersucht worden ist.

Die Fig. 252 stellt einen Zitterrochen von oben gesehen dar, welcher auf der einen Seite geöffnet ist, so daß man das elektrische Organ sieht. Es geht vorn bis dicht an den Vorderrand des Kopfes, seine obere Fläche stößt mittelst einer faserigen Haut an die Haut des Rückens, seine untere an die des Bauches; seine äußere Fläche ruht an dem Knorpel der Seitenflosse, seine innere an der Muskulatur des Kopfes und des vordern Theiles des Rumpfes. Von oben oder unten gesehen, zeigt das elektrische Organ polygonale oder rundliche Abtheilungen, Fig. 253; von der Seite aber sieht man parallele Streifen, wie Fig. 254 zeigt. Das ganze Organ besteht also aus einer Menge polygonaler oder rundlicher Säulchen, deren Axe die Richtung vom Bauche zum Rücken hat. Die Randbegränzung

jeder Säule bildet eine etwas dichtere sehnigte Membrane, welche, wie es scheint, dieselben Dienste leistet wie die Glasstäbe, zwischen welchen die galvanische Säule aufgebaut wird. Jedes Säulchen besteht aus einer Menge auf einander geschichteter feiner Blättchen; diese kleinen, bald ebenen, bald gebogenen Blättchen sind durch sehr klebrige Schleimschichten von einander getrennt, und somit bieten diese Säulchen in ihrer Construction eine große Aehnlichkeit mit einer aufgebauten galvanischen Säule dar.

Fig. 252.



Man zählt bei dem Zitterrochen gewöhnlich 400 bis 500 solcher Säulchen auf jeder Seite desselben; Hunter zählte deren sogar bei einem sehr großen Exemplare von $4\frac{1}{2}$ Fuß Länge 1184. Vier starke Nervenbündel, *d*, *e*, *f* und *g*, Fig. 252, vertheilen sich in das elektrische Organ, und nach Matteucci scheint das centrale Nervensystem, aus welchem sie entspringen, der eigentliche Sitz der elektrischen Kraft zu seyn.

Fig 253.

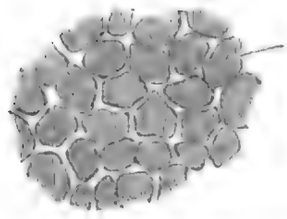


Fig. 254.

Bei dem Zitteraal liegt das elektrische Organ in dem sehr langen Schwanze. Bei diesem Thiere nämlich liegt der After so weit nach vorn, daß der Schwanz des Gymnotus fast $4\frac{1}{2}$mal so lang ist als Kopf und Rumpf zusammengenommen, das elektrische Organ liegt fast der ganzen Länge des Schwanzes nach auf jeder Seite und unterhalb desselben, so daß der elektrische Apparat dieses Thieres eine bedeutende Ausdehnung hat, woher es denn auch kommt, daß der Zitteraal so außerordentlich starke Schläge ertheilen kann.

Bei dem Gymnotus stehen die Säulchen, welche das elektrische Organ bilden, nicht senkrecht wie beim Zitterrochen, sondern sie laufen in der Richtung des Schwanzes fort, so daß die Scheibchen, aus denen sie bestehen, senkrecht stehen; daher kommt es denn auch, daß beim Zitteraal der positive Strom in der Richtung vom Kopfe nach dem Schwanze, also nicht wie beim Zitterrochen vom Rücken zum Bauche geht.

Im thierischen Organismus sind jedoch auch elektrische Ströme nach-

gewieſen worden, welche nicht durch beſondere elektriſche Organe hervorgebracht werden. Nobili hat gefunden, daß, wenn man mit dem einen Drahtende eines empfindlichen Multiplicators den Kopf, mit dem andern Drahtende die Füße eines lebenden oder friſch getödteten Froſches berührt, ein Strom vom Kopfe nach den Füßen geht; ebenſo läßt ſich ein Strom nachweiſen, wenn man in den Muskel irgend eines Thieres einſchneidet und den äußern Muskel mit der Schnittfläche durch den Multiplicatordraht verbindet.

Siebenter Abschnitt.

Von der Wärme.

Erstes Kapitel.

Ausdehnung.

Die Luft, das Wasser, alle Körper der Natur können in unserm Ge- 108
fühlsvermögen verschiedene Empfindungen anregen, die man mit den Namen der Wärme und der Kälte bezeichnet. Diese Empfindungen bringen sie sowohl bei unmittelbarer Berührung, als auch in großen Entfernungen hervor, und sie sind von der Art, daß wir die Ursache derselben nicht ohne Weiteres der Substanz der Körper selbst zuschreiben können. Von den Sonnenstrahlen beschienen, sehen wir wohl ein, daß es nicht die ponderabele Materie der Sonne ist, welche auf die Erde herabsteigt, um in unseren Augen die Empfindung des Lichtes, in unserm ganzen Körper das Gefühl der Wärme hervorzubringen. Es giebt also irgend ein Agens, welches von der Substanz der Körper verschieden in ihrer Masse verbreitet ist und alle diese Erscheinungen veranlaßt. Diesem Agens hat man den Namen calorique gegeben, was sich ins Deutsche nicht ganz passend übertragen läßt; denn der Ausdruck Wärmestoff würde schon eine Hypothese über das Wesen des unbekannten Agens einschließen. Gewöhnlich bezeichnet man im Deutschen dieses Agens selbst mit dem Namen Wärme, indem man für die Ursache denselben Namen braucht wie für die Wirkung. Ein Irrthum kann dadurch nicht leicht entstehen, indem es stets aus dem Zusammenhange klar wird, in welchem Sinne man das Wort »Wärme« zu nehmen hat.

Veränderung des Volumens. Wir haben schon oben gesehen, 109
daß alle Körper durch die Wärme ausgedehnt werden, und daß das Volumen eines Körpers von dem Grade seiner Erwärmung abhängt; die Ausdehnung eines Körpers kann uns also dienen, um den

Grad ſeiner Erwärmung zu meſſen. Man nennt die Temperatur eines Körpers den Grad ſeiner Erwärmung, die Inſtrumente aber, welche man anwendet, um die Temperatur zu beſtimmen, nennt man Thermometer.

Fig. 255 ſtellt ein Queckſilberthermometer dar; die Kugel iſt mit Queckſilber angefüllt; dieſe Flüſſigkeit erhebt ſich aber auch noch in der Röhre bis zu einer beſtimmten Höhe, welche von der Temperatur abhängt. Wenn man die Kugel erwärmt, vermehrt ſich das Volumen des Queckſilbers, es ſteigt in der Röhre, und man ſagt, die Temperatur ſey erhöht worden. Wenn die Kugel erkaltet, vermindert ſich das Volumen des Queckſilbers wieder, das Queckſilber ſinkt in der Röhre, und man ſagt, die Temperatur ſey gefallen.

Fig. 255.

Bei gleicher Temperatur nimmt der Gipfel der Queckſilberſäule auch ſtets dieſelbe Stelle in der Röhre ein. Wenn man ein anderes größeres oder kleineres Thermometer mit dem erſtern vergleicht, ſo werden beide mit einander ſteigen und fallen, aber die abſolute Größe des Steigens und Fallens kann doch ſehr verſchieden ſeyn. Wenn z. B. die beiden Kugeln gleich ſind, aber die eine Röhre einen zehnmal größeren Querſchnitt als die andere hat, ſo würde bei gleicher Temperaturerhöhung das Queckſilber in der engen Röhre zehnmal ſo hoch ſteigen als in der andern.

Ein ſolches Thermometer kann nur dazu dienen, zu ſehen, ob eine beſtimmte Temperatur ſtattfindet, oder ob ſie höher oder tiefer ſey, je nachdem der Gipfel der Queckſilberſäule in der Röhre an einer beſtimmten Stelle oder höher oder tiefer ſteht. Ein ſolches Inſtrument würde ſchon von einigem Nutzen für die Wiſſenſchaft ſeyn, durch die Graduirung aber werden die Thermometer doch eigentlich erſt brauchbare Inſtrumente, denn durch die Graduirung iſt es möglich, die Temperaturen in Zahlen auszudrücken, ſie zu vergleichen und die Geſetze der Wärme auszumitteln.

Die Graduirung der Thermometer beruht auf der Thatſache, daß es Phänomene giebt, welche immer bei derſelben Temperatur ſtattfinden. Nimmt man z. B. eins der obigen Thermometer in die Hand, ſo wird es mehr oder weniger ſteigen, je nachdem das Aeußere der Hand wärmer oder kälter iſt; wenn man aber die Hand ſo lange zuhält, bis ſie möglichſt erwärmt iſt, ſo wird das Thermometer allmälig bis zu einem beſtimmten Punkte, der Blutwärme, ſteigen, den es immer erreicht, über welchen es aber nie hinausgeht. Zu allen Jahreszeiten, in allen Klimaten, bei allen Individuen wird es faſt bis zu demſelben Punkte ſteigen. Die Temperatur des Blutes iſt alſo eine ziemlich conſtante Temperatur, ſie giebt einen

fixen Punkt, den man als Ausgangspunkt bei der numerischen Bezeichnung der Temperatur nehmen könnte.

Es giebt jedoch andere Erscheinungen, welche mehr mathematisch constant sind, und deren man sich leichter bedienen kann. Solche Erscheinungen sind z. B. die Veränderungen des Aggregatzustandes der Körper.

Construction des Quecksilberthermometers. Die Construction 110
des Quecksilberthermometers reducirt sich auf eine kleine Anzahl einfacher Operationen, deren Ausführung jedoch zum Theil große Geschicklichkeit erfordert. Nachdem die Röhre präparirt ist, muß das Quecksilber eingefüllt, die Röhre verschlossen und dann das Thermometer graduirt werden.

Die Thermometerröhren müssen vollkommen cylindrisch seyn. Um sich davon zu überzeugen, bringt man in die zu prüfende Röhre ein kleines Quecksilbersäulchen von 1 bis 2 Centimeter Länge (Fig. 256), bindet dann

Fig. 256.

an dasjenige Ende der Röhre, an welchem sich das Quecksilber befindet, eine Blase von gummi elasticum an, auf welche man nur leicht zu drücken nöthig hat, um das Quecksilbersäulchen nach und nach durch die ganze Röhre hindurch zu treiben. An verschiedenen Stellen der Röhre wird nun die Länge des Säulchens mit Hülfe eines Maaßstabes gemessen. Wenn es an jeder Stelle gleich lang ist, so ist die Röhre cylindrisch, und um ein Thermometer daraus zu machen, hat man zunächst eine Kugel anzublasen. Ist die Röhre nicht cylindrisch, so ist sie unbrauchbar.

Um das Quecksilber einzufüllen, wird die Kugel erwärmt, damit sich die darin befindliche Luft ausdehnt, und alsdann die offene Spitze der Röhre rasch in Quecksilber getaucht (Fig. 257). Beim Erkalten der Kugel steigt

Fig. 257.

das Quecksilber in der Röhre bis in die Kugel. Es genügt schon, wenn auf diese Weise nur einige Tropfen in die Kugel gelangen. Kehrt man nun den Apparat wieder um, um die Kugel von Neuem zu erhitzen, bis die Flüssigkeit ins Kochen kommt, so füllen die Quecksilberdämpfe bald den ganzen Raum aus, die Luft wird vollständig ausgetrieben, und wenn man nun abermals das offene Ende der Röhre rasch in Quecksilber eintaucht, so kann man versichert seyn, daß sich die Kugel vollständig mit Quecksilber ausfüllt.

Ehe das Thermometer verschlossen wird, muß es regulirt werden, d. h. man fügt noch so viel Quecksilber hinzu, oder man treibt so viel Quecksilber aus, wie es gerade der mittleren Temperatur entspricht, für welche das Thermo-

meter beſtimmt iſt; alsdann wird es zugeſchmolzen. Man kann dabei auf zweierlei Weiſe verfahren, entweder 1) indem man über der Thermometerſäule einen luftleeren Raum macht, oder 2) indem man noch Luft in die Röhre läßt.

Im erſten Falle zieht man die Röhre in eine feine Spitze aus, erwärmt die Kugel über Kohlen, bis oben einige Tröpfchen aus der Spitze hervortreten, und ſchmilzt in dieſem Augenblicke, mit Hülfe der Löthrohrflamme, die feine Spitze zu. Iſt dies geſchehen, ſo hat man die Spitze nur noch in der Flamme abzurunden, nachdem vorher das Queckſilber ſich beim Erkalten der Kugel von der Spitze zurückgezogen hat.

Fig. 258.

Im zweiten Falle ſchmilzt man die Spitze zu, wenn die Thermometerkugel die Temperatur der umgebenden Luft hat; alsdann wird die Spitze rothglühend gemacht, ſo daß das Glas hier auf einige Augenblicke dem Schmelzen ſehr nahe iſt. In dieſem Moment erwärmt man die Kugel raſch, die Queckſilberſäule ſteigt und treibt die Luft gegen die weiche Spitze, wodurch ſich hier ein mehr oder minder großes Reſervoir bildet (Fig. 259), in welches die Luft jederzeit zurückgedrängt wird, wenn die Queckſilberſäule ſteigt. Ohne ein ſolches Reſervoir iſt das Thermometer der Gefahr zu zerſpringen ausgeſetzt, wenn man es erwärmt.

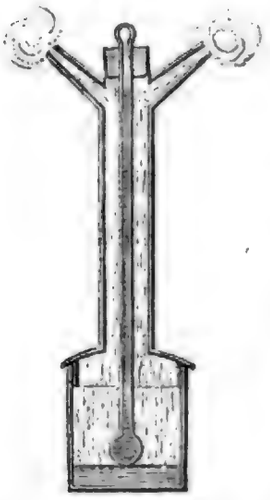
Das Graduiren der Thermometer beſteht darin, daß man zwei fixe Punkte auf der Röhre markirt und den Zwiſchenraum (den Fundamentalabſtand) in gleiche Theile theilt. Für die feſten Punkte nimmt man in der Regel den Gefrierpunkt und den Siedpunkt des Waſſers. Um den Gefrierpunkt zu beſtimmen, ſteckt man die Thermometerkugel und die Röhre, ſo weit das Queckſilber in derſelben reicht, in ein Gefäß mit fein geſtoßenem Eiſe (Fig. 259). Wenn die Temperatur der umgebenden Luft höher iſt als Null, ſo ſchmilzt das Eis, und die ganze Maſſe nimmt die fixe Temperatur des Gefrierpunktes an. Bald nimmt auch das Thermometer dieſe Temperatur an und bleibt von dem Augenblicke an vollkommen ſtationär, und man hat nur mit Genauigkeit den Punkt der Röhre zu markiren, wo gerade der Gipfel der Queckſilberſäule ſteht. Man bezeichnet dieſen Punkt zuerſt mit Tinte und alsdann mit einem Diamant.

Fig. 259.

Um den Siedepunkt zu beſtimmen, nimmt man ein Gefäß mit langem Halſe, Fig. 260, in welchem man deſtillirtes Waſſer zum Kochen bringt; nachdem es einige Zeit gekocht hat, ſind alle Theile des Gefäßes gleichmäßig erwärmt, und der Dampf entweicht durch die Seitenöffnungen; das Thermometer iſt alsdann allenthalben von Dampf umgeben, deſſen

Temperatur dieſelbe iſt wie die der oberſten Waſſerſchicht. Das Queckſilber ſteigt bald bis zu einem Punkte, auf dem es feſt ſtehen bleibt und den es nicht überſchreitet. Man bezeichnet dieſen Punkt wie den Nullpunkt. Wenn in dieſem Augenblicke die Barometerhöhe nicht gerade 760^{mm} iſt, ſo iſt eine Correction anzubringen, deren Werth weiter unten, wo vom Sieden die Rede ſeyn wird, angegeben werden ſoll.

Fig. 260.



Bei dem Centeſimalthermometer wird der Zwiſchenraum der beiden fixen Punkte in 100 Theile getheilt, und ſo erhält man die Thermometerſcala.

Alle Thermometer, welche auf dieſe Weiſe conſtruirt ſind, ſind vergleichbare Inſtrumente, d. h. ſie zeigen bei gleichen Temperaturen eine gleiche Zahl von Graden.

Man kann Queckſilberthermometer conſtruiren, welche bis zu 360 Grad gehen, weiter aber kann man nicht gehen, weil man ſonſt dem Siedepunkte des Queckſilbers (400°) zu nahe kommt. Unter Null ſind die Angaben des Queckſilberthermometers richtig bis — 30° oder — 35°. Bei noch geringerer Temperatur kommt man dem Gefrierpunkte des Queckſilbers (— 40°) zu nahe. In der Nähe der Temperaturen nämlich, bei welchen die Körper ihren Aggregatzuſtand ändern, iſt ihre Ausdehnung nicht mehr regelmäßig.

Man hat beobachtet, daß bei vielen Thermometern der Nullpunkt mit der Zeit ſteigt, als ob die Kugel kleiner geworden wäre. Man hat dies beſonders bei ſolchen Thermometern bemerkt, bei welchen über der Queckſilberſäule ſich ein leerer Raum befindet. Die Urſache dieſer Verrückung des Nullpunkts iſt demnach ohne Zweifel der Druck der äußern Luft, dem von Innen kein Gegendruck entgegenwirkt, und der demnach die Kugel bis zu einer gewiſſen Grenze zuſammendrückt. Es iſt deshalb zu rathen, die Thermometer, nachdem man ſie zugeſchmolzen hat, einige Monate liegen zu laſſen, bevor man ſie graduirt. Auch darf man nicht verſäumen, von Zeit zu Zeit die Richtigkeit des Nullpunkts zu prüfen.

Nicht bei allen Thermometern iſt der Fundamentalbeſtand in 100 Grade getheilt. In Deutſchland und Frankreich iſt das Réaumur'ſche Thermometer noch ſehr verbreitet, bei welchem dieſer Abſtand in 80 Grade getheilt iſt, obgleich man ſich bei wiſſenſchaftlichen Unterſuchungen jetzt faſt ausſchließlich des von Celſius zuerſt angegebenen hunderttheiligen Thermometers bedient. Es iſt jedoch leicht, Celſius'ſche Grade auf Réaumur'ſche zu reduciren, und umgekehrt, denn da

$$100^0\ \text{C.} = 80^0\ \text{R.},$$

ſo iſt

$$1^0\ \text{C.} = 0{,}8^0\ \text{R.}$$

und

$$1^0\ \text{R.} = 1{,}25^0\ \text{C.}$$

Es ſind demnach x^0 C. $= x \,.\, 0{,}8^0$ R. und n^0 R. $= n \,.\, 2{,}25^0$ C. Man kann dies in Worten ſo ausdrücken: Um Réaumur'ſche Grade in Celſius'ſche zu verwandeln, multiplicirt man die Zahl der Réaumur'ſchen Grade mit 1,25 oder mit $^5/_4$. Will man umgekehrt Celſius'ſche Grade in Réaumur'ſche verwandeln, ſo multiplicirt man die gegebene Gradzahl mit 0,8 oder, was daſſelbe iſt, mit $^4/_5$.

In England bedient man ſich ausſchließlich der Fahrenheit'ſchen Scala, deren Nullpunkt nicht mit dem der beiden eben erwähnten zuſammenfällt. Der Nullpunkt des Fahrenheit'ſchen Thermometers trifft mit dem Theilſtriche $-17^7/_9$ der Celſius'ſchen Scala zuſammen. Der Schmelzpunkt des Eiſes iſt auf derſelben mit 32, der Siedepunkt des Waſſers mit 212 bezeichnet, ſo daß alſo der Zwiſchenraum zwiſchen dem Gefrierpunkte und dem Siedepunkte des Waſſers hier in 180 Grade getheilt iſt. Es ſind alſo dem dem abſoluten Werthe nach

$$180^0\ \text{F.} = 100^0\ \text{C.},$$

mithin

$$1^0\ \text{F.} = {}^5/_9{}^0\ \text{C.}$$

und

$$1^0\ \text{C.} = {}^9/_5{}^0\ \text{F.}$$

Um jedoch die Angaben des einen dieſer Thermometer auf die des andern zu reduciren, hat man noch zu berückſichtigen, daß die Nullpunkte derſelben nicht zuſammenfallen. Will man Fahrenheit'ſche Grade in Celſius'ſche verwandeln, ſo hat man von der gegebenen Grundzahl 32 abzuziehen und den Reſt mit $^5/_9$ zu multipliciren. Es ſind demnach

$$x^0\ \text{F.} = (x - 32)\ {}^5/_9{}^0\ \text{C.}$$

Will man Celſius'ſche Grade in Fahrenheit'ſche verwandeln, ſo multiplicirt man mit $^9/_5$ und addirt zum Produkt 32. Es ſind demnach

$$y^0\ \text{C.} = (y \,.\, {}^9/_5 + 32)^0\ \text{F.}$$

Zur leichtern Vergleichung der verſchiedenen Scalen mag folgende Tabelle dienen:

Celsius.	Réaumur.	Fahrenheit.
— 20	— 16	— 4
— 10	— 8	+ 14
0	0	32
+ 10	+ 8	50
20	16	68
30	24	86
40	32	104
50	40	122
60	48	140
70	56	158
80	64	176
90	72	194
100	80	212.

Formeln für die Ausdehnung. Wenn ein fester Körper sich aus- 111
dehnt, so können wir unmittelbar nur die Vergrößerung seiner Längendimensionen, seine lineare Ausdehnung messen. Wenn eine Eisenstange bei 0^0 eine Länge von 2^m hat, so wird die Länge dieses Stabes, wenn er bis zu 100^0 erwärmt wird, $2{,}0024^m$ werden; der Stab ist also um 2,4 Millimeter länger geworden. Die Längenausdehnung, welche der Stab durch eine Temperaturerhöhung von 100^0 erlitten hat, verhält sich also zu seiner ursprünglichen Länge bei 0^0 wie 0,0024 : 2, oder wie 0,0012 : 1, d. h. der Stab hat sich um $\frac{12}{10000}$ seiner ursprünglichen Länge ausgedehnt. Die Zahl, welche angiebt, um den wievielten Theil seiner Länge (bei 0^0) sich ein fester Körper ausdehnt, wenn er bis 100^0 erwärmt wird, nennt man den Ausdehnungscoëfficienten. Man findet diesen Coëfficienten, wenn man die Größe der Ausdehnung, welche ein Körper bei einer Temperaturerhöhung von 0^0 bis 100^0 erleidet, durch seine ursprüngliche Länge bei 0^0 dividirt. Bezeichnet also l diese ursprüngliche Länge, b die Größe der Ausdehnung, so ist der Ausdehnungscoëfficient

$$r = \frac{b}{l}.$$

Jeder feste Körper hat einen besondern ihm eigenthümlichen Ausdehnungscoëfficienten.

Wie die Erfahrung lehrt, dehnen sich fast alle festen Körper, wenigstens innerhalb der Grenzen von 0^0 bis 100^0, regelmäßig aus, d. h. ihre Ausdehnung ist der Zunahme der Temperatur proportional. Wir haben z. B.

geſehen, daß ſich eine Eiſenſtange, welche bei 0^0 zwei Meter lang iſt, um $2{,}4^{mm}$ ausdehnt, wenn man ſie bis auf 100^0 erwärmt; wenn man ſie aber nur auf 50^0 erwärmt, ſo dehnt ſie ſich auch nur um die Hälfte, alſo um $1{,}2^{mm}$ aus. Bei einer Temperaturerhöhung von 10^0, von 1^0 dehnt ſie ſich demnach auch nur um $0{,}24^{mm}$, um $0{,}024^{mm}$ aus. Wenn allgemein b die Ausdehnung eines Körpers für eine Temperaturerhöhung von 0^0 bis 100^0 iſt, ſo iſt $\frac{b}{100}$ die Ausdehnung, welche einer Temperaturerhöhung von 0^0 bis 1^0 entſpricht; und wenn r der Ausdehnungscoëfficient für eine Temperaturerhöhung von 100^0 iſt, ſo iſt der Ausdehnungscoëfficient für eine Temperaturerhöhung von 1^0 gleich $\frac{r}{100}$. Bezeichnen wir den Werth von $\frac{r}{100}$ mit n, mit l aber die Länge eines Körpers bei 0^0, ſo iſt ſeine Länge bei 1^0 gleich $l + nl$ oder $l\,(1 + n)$. Bei einer Temperatur von t^0 aber iſt ſeine Länge

$$l' = l\,(1 + nt).$$

Wenn drei der vier Größen l. l', n und t gegeben ſind, ſo kann man die vierte berechnen.

112 **Die kubiſche Ausdehnung** iſt die Vergrößerung, welche das Volumen eines Körpers durch die Temperaturerhöhung erleidet. Auch hier wird das Volumen des Körpers bei 0^0 zum Ausgangspunkt genommen, und unter dem Ausdehnungscoëfficienten verſteht man hier die Zahl, welche angiebt, um den wievielſten Theil ſeines urſprünglichen Volumens bei 0^0 ſich ein Körper ausdeht, wenn man ihn bis auf 100^0 erwärmt. Wenn man ſagt, der Ausdehnungscoëfficient des Queckſilbers ſey 0,018, ſo heißt das, das Queckſilber dehnt ſich bei einer Temperaturerhöhung von 100^0 um $\frac{18}{1000}$ ſeines Volumens bei 0^0 aus. Kennt man den Ausdehnungscoëfficienten und das Volumen eines Körpers bei 0^0, ſo kann man ſein Volumen für eine Temperatur von t^0 auf dieſelbe Weiſe berechnen, wie dies bei der Längenausdehnung der feſten Körper gezeigt wurde, vorausgeſetzt, daß die Ausdehnung des Körpers regelmäßig iſt.

Bei tropfbar-flüſſigen und gasförmigen Körpern wird durch den Verſuch unmittelbar die körperliche Ausdehnung beſtimmt, während bei feſten Körpern die körperliche Ausdehnung aus der beobachteten linearen berechnet werden muß.

Der Ausdehnungscoëfficient für die körperliche Ausdehnung feſter Körper iſt dreimal ſo groß als der Ausdehnungscoëfficient für die lineare Ausdehnung.

Man kann ſich davon durch folgendes Raiſonnement überzeugen. Es

sey l die Seite eines Würfels bei 0^0, so ist l^3 das Volumen desselben, welches wir mit v bezeichnen wollen; wenn nun der Würfel bis auf 100^0 erwärmt wird, so ist jede Seite $l(1+r)$, mithin ist jetzt der Inhalt des Würfels:

$$v' = l^3 (1+r)^3 = l^3 (1 + 3r + 3r^2 + r^3).$$

Da aber r eine sehr kleine Größe ist, so kann man die höheren Potenzen derselben vernachlässigen, und der Werth von v' reducirt sich demnach auf

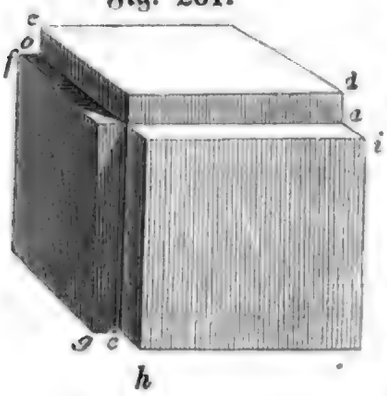
$$v' = l^3 (1 + 3r) = v (1 + 3r).$$

Das Volumen v ist also um $3rv$ gewachsen; der Ausdehnungscoëfficient für das Volumen ist also $3r$.

Wir wollen versuchen, dies noch auf geometrischem Wege anschaulich zu machen.

Es sey $a\,b\,c$ ein aus irgend einem festen Körper gebildeter Würfel (Fig. 261) bei 0^0. Wenn nun dieser Würfel bei einer Temperaturerhöhung von 100^0 sich nur nach Oben ausdehnte, so würde sein Volumen um die quadratische Platte $a\,d\,e\,b$ zunehmen, deren Inhalt vr ist, wenn v das Volumen des ursprünglichen Würfels und r der Längen-Ausdehnungscoëfficient ist. Wenn sich der Würfel nur nach der linken Seite hin ausdehnte, so würde er hier um eine eben so große Platte $c\,g\,b\,f$ wachsen, und eine dritte Platte $a\,i\,h\,c$ endlich, deren Inhalt gleichfalls rv ist, das Resultat der Ausdehnung des Körpers nach Vorne seyn. Der kubische Inhalt dieser drei Platten zusammen ist $3rv$. Zur Vollendung des durch die Wärme vergrößerten Würfels müßte freilich noch der Inhalt der Ecken hinzuaddirt werden, welche da einzupassen sind, wo je zwei der eben betrachteten Platten mit einer Kante zusammentreffen, allein die Größe derselben ist so unbedeutend, daß sie vernachlässigt werden kann, da ja die Größe der linearen Ausdehnung $d\,a$ sehr klein ist im Vergleich zu der Länge der Seiten des ursprünglichen Würfels, und man kann also $3rv$ ohne merklichen Fehler für die ganze Zunahme des Volumens ansehen.

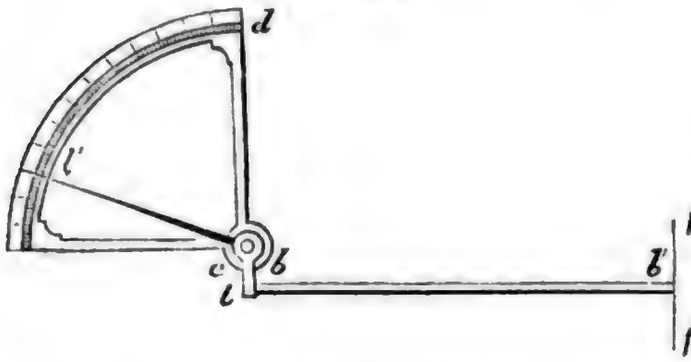
Fig. 261.



Ausdehnung fester Körper. Weil die Ausdehnung fester Körper 113
durch die Wärme sehr gering ist, so muß man auf Mittel sinnen, durch welche sie dem Auge vergrößert wird. Am einfachsten wird dies auf folgende Weise erreicht. Eine Stange $b\,b'$, Fig. 262 a. f. S., von dem zu untersuchenden Körper stützt sich mit einem Ende gegen den festen Widerhalt $f\,f'$, während ihr anderes Ende gegen den kürzeren Arm eines Winkelhebels $l\,c\,l'$ stößt, der sich um den festen Punkt c drehen kann. Wenn nun das Ende l des kürzern Hebelarmes durch die Ausdehnung der Stange $b\,b'$ auch nur wenig fortgeschoben wird, so wird das andre Ende l' einen

weit größern Weg zurücklegen, und man kann auf dieſe Weiſe die kleinſte Verlängerung der Stange $b\,b'$ noch ſichtbar machen, wenn nur die Länge $c\,l'$ ſehr groß iſt im Vergleich zu $c\,l$.

Fig. 262.

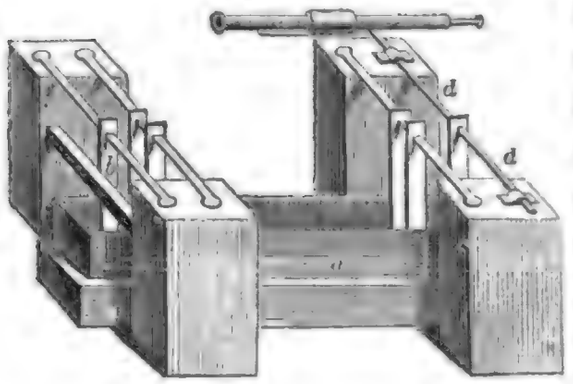


Die größte Schwierigkeit hierbei iſt, daß man nicht leicht die feſte Widerlage $f\,f'$ und die Drehungsaxe c vollkommen unverrückbar machen kann, denn der Abſtand derſelben muß durchaus unverändert bleiben, wenn die Reſultate genau ſeyn ſollen. Wenn der Punkt c und die Widerlage $f\,f'$ Theile derſelben Unterlage ausmachen, ſo wird ſich dieſe ſelbſt bei einer Temperaturerhöhung ausdehnen und der fragliche Abſtand größer werden.

Dieſe Fehlerquelle iſt auf eine äußerſt ſinnreiche Weiſe in dem Apparat vermieden, deſſen ſich Lavoiſier und Laplace bedienten, um die Ausdehnung feſter Körper zu beſtimmen.

Eine aus dem zu prüfenden Material verfertigte Stange a, Fig. 263, lag horizontal auf gläſernen Stäben, über welche ſie frei hingleiten konnte. Als Widerhalt für das eine Ende dieſes Stabes diente ein vertikaler gläſerner Stab b, der an einem horizontalen eiſernen Querſtabe hing, deſſen Ende in zwei große in den Boden eingeſenkte maſſive Pfeiler von Stein eingekittet waren. Das andre Ende des Stabes a war in unmittelbarer Berührung mit einem ähnlichen gläſernen Stabe c, der von einem um ſeine Axe leicht drehbaren Stabe d getragen wurde. An der Verlängerung dieſer Stange war ein auf eine weit entfernte Scala gerichtetes Fernrohr befeſtigt. Hier iſt der Glasſtab c der kürzere, die nach der Scala gerichtete Viſirlinie aber der längere Hebelarm. Wenn durch die Ausdehnung der Stange a das untere Ende der Stange c auch nur unbedeutend verrückt wird, ſo wird dadurch die Viſirlinie des Fernrohrs gedreht, und man kann die kleinſte Drehung auf der entfernten Scala ableſen. Eine Verrückung der Axe d und der feſten Widerlage iſt hier ganz unmöglich.

Fig. 263.

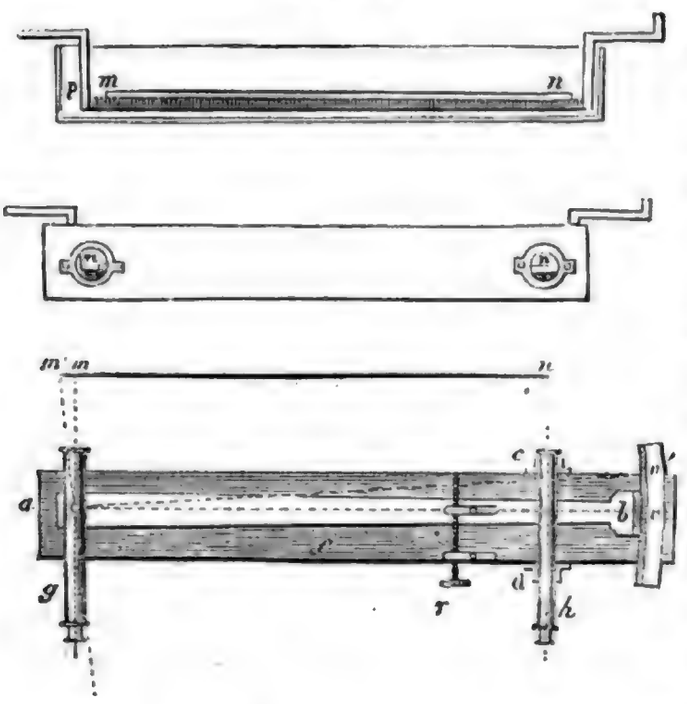


Zwiſchen den vier Pfeilern befindet ſich ein Kaſten, der mit Waſſer oder

mit Oel gefüllt wird, welches gehörig erhitzt werden kann, und in welches der zu untersuchende Stab eingetaucht ist.

Dieser Apparat ist jedoch füglich nur bis 250°, höchstens 300° anwendbar. Der folgende Apparat ist von diesem Uebelstande frei und kann außerdem noch dienen, die Länge des Meters und anderer Längenmaße zu vergleichen und auch noch die kleinsten Differenzen sichtbar zu machen.

Fig. 264.

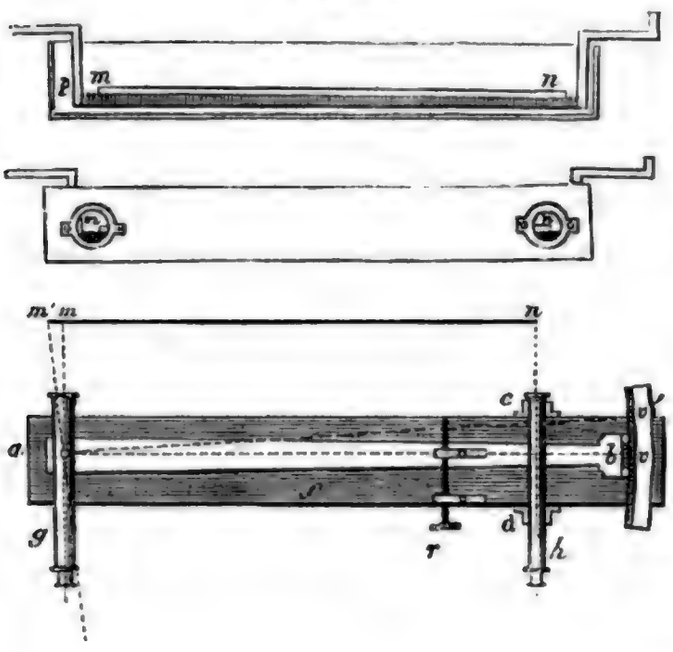


Auf einer starken Platte f von Eisen, Fig. 264, ist eine Alhidade ab befestigt, welche 1,1 bis 1,2 Meter lang und um den festen Punkt a drehbar ist. Diese Alhidade trägt ein Fernrohr g von kurzer Sehweite. Ein zweites Fernrohr ist auf der Platte in c und d befestigt, so daß es die Drehung der Alhidade zwischen c und d nicht hindert. Bringt man nun einen Stab mn so vor die Fernröhre, daß die Punkte m und n gerade in ihr Fadenkreuz fallen, und daß sich alsdann der Stab um mm' ausdehnt, während der Punkt n fest bleibt, so muß man die Alhidade ab um einen bestimmten Winkel drehen, damit der Punkt m' wieder ins Fadenkreuz des Fernrohrs g komme; das Ende b muß also einen Bogen vv' auf der Theilung durchlaufen, welche hier auf der Platte f befestigt ist. Ist nun ein für allemal das Verhältniß der Hebelarme am und ab bekannt, so kann man leicht mm' bestimmen, denn

$$\frac{mm'}{vv'} = \frac{am}{ab}.$$

Es kommt also Alles darauf an, mit Sorgfalt das Verhältniß dieser Hebelarme zu bestimmen. Zu diesem Zwecke bringt man in m rechtwinklig zur Visirlinie des beweglichen Fernrohrs ein kleines Metallstückchen an, auf welches mit möglichster Genauigkeit vier bis fünf Millimeter gezogen sind; läßt man nun das Fadenkreuz des Fernrohrs g nach und nach diese Abtheilungen durchlaufen, so beobachtet man, wie viel Millimeter das Ende b gleichzeitig an seiner Theilung durchläuft, wodurch dann das gesuchte Verhältniß der Hebelarme bestimmt ist. Um die Drehung der Alhidade möglichst genau bestimmen zu können, befindet sich in b noch ein

Fig. 265.



Nonius, der mit Hülfe eines Mikroſkops abgeleſen wird.

Zur feinern Verſchiebung der Alhidade und zum richtigen Einſtellen des Fernrohrs g dient die Stellſchraube r.

Wenn man dieſen Apparat anwenden will, um Ausdehnungen unter 300° zu meſſen, ſo bedient man ſich eines Kaſtens von Kupfer. Man ſetzt dieſen auf einen paſſenden Ofen, füllt ihn mit fixem Oel, welches man lange genug unter beſtändigem Rühren auf conſtanter Temperatur erhalten kann. Der Stab, welchen man der Beobachtung unterwerfen will, iſt auf eine Unterlage von Eiſen gelegt, welche auf dem Kaſten ruht, ſo daß ihre Lage durch ein Schraubenſyſtem gehörig regulirt werden kann. Die Enden des Stabes mn kommen gerade an zwei Seitenöffnungen zu liegen, welche durch Glasplatten verſchloſſen werden, die ganz einfach gegen die Wand des Kaſtens angedrückt ſind. Man kann es leicht dahin bringen, daß das Ende n des Stabes bei jeder Beobachtung gerade vor das Fadenkreuz des feſten Fernrohrs zu liegen kommt, während man mit dem beweglichen Fernrohre mittelſt der Stellſchraube r die Bewegung des andern Endes m verfolgt.

Um die Ausdehnung bei hohen Temperaturen zu beobachten, wird der Stab auf eine andere Unterlage von Eiſen in einen Ofen von Backſteinen gebracht, durch welchen man heiße Luft oder ſelbſt die Flamme ſtreichen läßt. An dieſem Orte befinden ſich, den Fernröhren gegenüber, kleine Löcher, welche man in dem Augenblicke der Beobachtung öffnet. Wenn die Temperatur des Stabes noch unter der Rothglühhitze iſt, ſo muß man die Punkte, auf welche man viſirt, künſtlich erleuchten. Wie man zu gleicher Zeit die entſprechenden Temperaturen beſtimmt, werden wir ſpäter ſehen.

Dulong und Petit haben wieder ein anderes Verfahren angewandt, die Ausdehnung feſter Körper zu beſtimmen, welches auf der Differenz zwiſchen der ſcheinbaren und abſoluten Ausdehnung des Queckſilbers, wovon ſpäter noch die Rede ſeyn wird, beruht. Nachdem auf dieſe Weiſe

die Ausdehnung des Glases und des Eisens bestimmt war, bedienten sie sich, um die Ausdehnung anderer festen Körper zu finden, des von Borda bei Gelegenheit seiner Gradmessung ersonnenen Pyrometers. Dieses Pyrometer ist Fig. 266 dargestellt. Es besteht aus zwei Metallstäben von verschiedenem Metalle, welche ihrer ganzen Länge nach auf einander gelegt und an dem einen Ende fest verbunden sind. Am andern Ende trägt jeder Metallstab ein Messingstück, welches zuerst vertikal aufsteigt und dann horizontal umgebogen ist. Die horizontalen Arme dieser Ansatzstücke können frei an einander hergleiten, wenn die Metallstäbe sich ungleich ausdehnen; da sie aber an der Linie, mit welcher sie zusammenstoßen, eingetheilt sind, und zwar so, daß die Theilung des einen einen Nonius für den andern bildet, daß also etwa 19 Theile der einen Theilung gleich 20 Abtheilungen der andern sind, so kann man mit Hülfe dieses Nonius sehr genau die Differenz der Ausdehnung der beiden Metallstäbe ablesen. Wenn nun die Ausdehnung des einen bekannt ist, so kann man leicht mit Hülfe der eben beobachteten Differenz die Ausdehnung des andern bestimmen. Die Stäbe, welche Dulong und Petit anwandten, waren 12 Decimeter lang, 25 Millimeter breit und 4 Millimeter dick.

Fig. 266.

Wenn der Coëfficient für die lineare Ausdehnung eines Körpers bekannt ist, so kann man, wie schon bemerkt wurde, den Coefficienten für die kubische Ausdehnung berechnen. So ist z. B. der Ausdehnungscoëfficient für die lineare Ausdehnung des Glases 0,000862, folglich der Coëfficient für die Vergrößerung des Volumens 0,002586. Wenn nun ein Glasgefäß erwärmt wird, so dehnt es sich aus, sein Inhalt wird größer. Die Vermehrung der Capacität des Gefäßes läßt sich leicht berechnen. Es sey z. B. der Inhalt eines Glasgefäßes bei 0^0 gleich 1 Liter = 1000 Kubikcent., so wird sein Inhalt bei $100^0 = 1000\ (1 + 0{,}00258)^{kc}$ oder, was dasselbe ist, $1002{,}58^{kc}$, d. h. der Inhalt ist um $2\frac{1}{2}{}^{kc}$ größer geworden.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der besten Beobachtungen über die Ausdehnung fester Körper.

Tabelle der linearen Ausdehnung feſter Körper.

Namen der Körper.	Temperatur-Intervall.	Ausdehnung. in Decimalbrüchen.	Ausdehnung. in gewöhnl. Brüchen.
Nach Lavoiſier und Laplace:			
Engliſches Flintglas	0 bis 100°	0,00081166	1/1246
Platin (nach Borda)	» » »	0,00085655	1/1167
Franzöſiſches bleihaltiges Glas	» » »	0,00087199	1/1147
Bleifreie Glasröhren	» » »	0,00087572	1/1142
» »	» » »	0,00089694	1/1115
» »	» » »	0,00089760	1/1114
» »	» » »	0,00091750	1/1090
Glas von St. Gobain	» » »	0,00089089	1/1122
Stahl (nicht gehärtet)	» » »	0,00107880	1/927
» » »	» » »	0,00107915	1/927
» » »	» » »	0,00107960	1/926
Stahl (gehärtet)	» » »	0,00123956	1/807
Weiches Eiſen, geſchmiedet	» » »	0,00122045	1/819
Stabeiſen	» » »	0,00123504	1/812
Gold	» » »	0,00146606	1/682
»	» » »	0,00151361	1/661
»	» » »	0,00156155	1/645
Kupfer	» » »	0,00171220	1/584
»	» » »	0,00171733	1/582
»	» » »	0,00172240	1/581
Meſſing	» » »	0,00186760	1/535
»	» » »	0,00187821	1/533
»	» » »	0,00188970	1/529
Silber	» » »	0,00190868	1/524
»	» » »	0,00190974	1/524
Zinn	» » »	0,00193765	1/516
»	» » »	0,00217298	1/462
Blei	» » »	0,00284836	1/351
Nach Smeaton:			
Weißes Glas (Barometerröhren)	0 bis 100°	0,00083333	1/1175
Antimon	» » »	0,0010833	1/923
Stahl	» » »	0,00115000	1/870
Gehärteter Stahl	» » »	0,00122500	1/816
Eiſen	» » »	0,00125833	1/795
Wismuth	» » »	0,00139167	1/719
Kupfer, gehämmert	» » »	0,00170000	1/588

Namen der Körper.	Temperatur-Intervall.	Ausdehnung in Decimalbrüchen.	Ausdehnung in gewöhnl. Brüchen.
Kupfer, 8 Theile mit 1 Theil Zinn	0 bis 100°	0,00181667	1/550
Messing, gegossen	» » »	0,00187500	1/533
Messingdraht	» » »	0,00193333	1/517
Spiegelmetall zu Teleskopen	» » »	0,00193333	1/517
Loth (2 Thle. Kupfer, 1 Thl. Zink)	» » »	0,00205833	1/486
Feines Zinn	» » »	0,00228333	1/438
Weißes Loth (1 Thl. Zinn 2 Thle. Blei)	» » »	0,00250533	1/399
Blei	» » »	0,00286667	1/349
Zink	» » »	0,00294167	1/340
Nach Roy:			
Glas in Röhren	0 bis 103°	0,00077550	1/1289
Glas, solider Stab	» » »	0,00080833	1/1237
Eisen, gegossenes Prisma	» » »	0,0011100	1/901
Stahl	» » »	0,00114450	1/874
Messing von Hamburg	» » »	0,00185550	1/539
Messing, englisches	» » »	0,00189296	1/528
Nach Troughton:			
Platin	0 bis 100°	0,00099180	1/1008
Stahl	» » »	0,00118990	1/840
Eisen (in Drahtzug gezogen)	» » »	0,00144010	1/694
Kupfer	» » »	0,00191880	1/521
Silber	» » »	0,00208260	1/480
Nach Wollaston:			
Palladium	0 bis 100°	0,00100000	1/1000
Nach Dulong und Petit:			
Platin	0 bis 100°	0,00088420	2/1131
	0 bis 300°	0,00275482	1/363
Glas	0 bis 100°	0,00086133	1/1161
	0 bis 200°	0,00184502	1/454
	0 bis 300°	0,00303252	1/329
Eisen	0 bis 100°	0,00118210	1/546
	0 bis 300°	0,00440528	1/227
Kupfer	0 bis 100°	0,00171820	1/582
	0 bis 300°	0,00564972	1/177

Von 0 bis 100° ist im Allgemeinen die Ausdehnung der festen Körper regelmäßig, über 100° hinaus aber nimmt sie zu.

214 **Anwendung der Ausdehnung feſter Körper.** Die Kraft, mit welcher ſich die Körper ausdehnen, iſt gleich dem Widerſtande, den ſie einer Compreſſion entgegenſetzen. Es ſey ein Gewicht von 1000 Kilogrammen nöthig, um eine vertikale Eiſenſtange gerade um ſo viel zuſammenzudrücken, als ſie ſich bei einer Temperaturerniedrigung von 1^0 zuſammenzieht; ſo iſt klar, daß, wenn man die Stange mit einem Gewicht von 1000^{kg} belaſtet, ſie aber um 1^0 erwärmt, ſich alsdann die durch die Wärme veranlaßte Ausdehnung und die durch die Laſt bewirkte Compreſſion compenſiren, daß alſo ihre Länge unverändert bleibt. Man kann daraus ſchließen, mit welcher ungeheuren Kraft ſich die Körper ausdehnen und zuſammenziehen. Die Flüſſigkeiten, welche etwas compreſſibel ſind, ſich aber ſtark ausdehnen, können die größten Wirkungen dieſer Art hervorbringen. Wegen der Ausdehnung des Eiſens darf man bei größeren Bauten, wo eine größere Zahl von Eiſenſtäben an einander gereiht werden muß, z. B. bei Eiſenbahnen, nicht ein Stück genau an das andere anſtoßen laſſen, ſondern man muß ſie ſo in einander ſchieben, daß noch ein kleiner Zwiſchenraum für die Ausdehnung bleibt. Bei Röhrenleitungen iſt die Sache ſchwieriger; man erreicht hier den Zweck durch Bleiſtreifen, mit welchen man dasjenige Ende der Röhre umwickelt, welches in die weitere Oeffnung der folgenden Röhre hineingeſteckt wird.

Die Kraft, mit welcher ſich die Körper beim Erkalten zuſammenziehen, iſt gleich dem Widerſtande, den ſie einer Kraft entgegenſetzen, welche ſie aus einander zieht. Wenn eine Kraft von 1000^{kg} nöthig iſt, um eine Eiſenſtange ſo viel zu verlängern, wie dies auch durch eine Temperaturerhöhung von 1^0 geſchieht, ſo iſt klar, daß, wenn man an den Eiſenſtab eine Laſt von 1000^{kg} hängt und die Temperatur um 1^0 erniedrigt, alsdann die durch Erkaltung bewirkte Contraction und die durch den Zug bewirkte Verlängerung ſich compenſiren. Da die Dehnbarkeit des Eiſens ſehr groß iſt, ſo kann man dieſe Eigenſchaft benutzen, um Wirkungen hervorzubringen, welche man wohl kaum mit anderen mechaniſchen Mitteln hervorbringen könnte. Man muß dieſe Eigenſchaft wohl berückſichtigen, wenn man Materialien anwendet, die einem großen Temperaturwechſel unterworfen ſind. Wenn z. B. eine Eiſenſtange zwiſchen zwei feſten Widerlagen ſteht, welche ſie durch die Kraft ihrer Ausdehnung nicht fortrücken kann, ſo muß ſich die Eiſenſtange biegen; und wenn die Enden einer Eiſenſtange ſo befeſtigt ſind, daß ſie beim Erkalten durch die Kraft, mit welcher die Zuſammenziehung erfolgt, nicht genähert werden können, ſo muß die Stange reißen. Daher kommt es, daß beim Gießen häufig Stücke zerbrechen, wenn man bei den Formen nicht Rückſicht darauf genommen hat, daß ſich das Metall beim Erkalten gehörig zuſammenziehen kann.

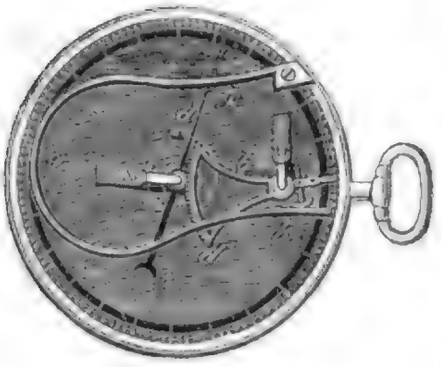
Compensationsnadel. Da alle Körper sich durch die Wärme ausdehnen, so wird ein aus einer einfachen Stange gebildetes Pendel bei höherer Temperatur länger seyn als bei niedriger, es wird im Sommer also langsamer schwingen als im Winter, und wenn ein solches Pendel zur Regulirung einer Uhr angewendet wird, so ist der Gang der Uhr von der Temperatur abhängig. Bei den **Compensationspendeln** ist dieser nachtheilige Einfluß der Ausdehnung vermieden. Fig. 267 stellt ein Compensationspendel der einfachsten Art dar. Auf dem untern horizontalen Bügel des Rahmens $a\,d$, welcher von Eisen ist, sind zwei vertikale Stäbe von einem andern Metall befestigt, welches sich stärker ausdehnt als das Eisen. Diese Stäbe tragen einen horizontalen Bügel $n\,x$, an dem wieder eine eiserne Stange hängt, welche die Linse trägt. Durch die Verlängerung der äußern und mittelsten Eisenstange wird die Linse gesenkt, durch die Ausdehnung der in der Figur dunklern Stäbe aber wird sie gehoben. Gesetzt, jede der helleren Stangen verlängere sich um 1^{mm}, so wird dadurch die Linse um 2^{mm} gesenkt; wenn aber nun jede der dunkleren Stangen sich um 2^{mm} verlängert, so wird die Linse dadurch wieder um 2^{mm} gehoben, die Pendellänge bleibt also unverändert.

Fig. 267.

Compensationsstreifen nennt man ein System von zwei Metallstreifen, welche sich ungleich ausdehnen, und welche entweder zusammengelöthet oder zusammengenietet sind. Gesetzt, der eine Streifen sey von Zink, der andere von Eisen, und das System bilde bei 20^0 eine gerade Linie, so wird es sich bei höherer Temperatur so biegen, daß das Zink außen ist, Fig. 268, weil sich das Zink stärker ausdehnt. Unter 20^0 wird sich der Streifen auf die entgegengesetzte Weise krümmen, so daß das Zink innen ist, weil sich das Zink stärker zusammenzieht. Man hat dies bei der Construction der Unruhe in Chronometern benutzt, um den Seeleuten Uhren in die Hand zu geben, deren Genauigkeit nichts zu wünschen übrigläßt.

Fig. 268.

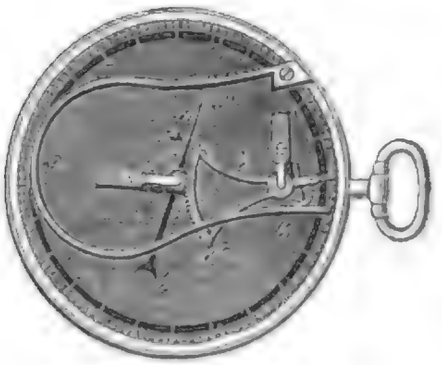
Fig. 269.



Quadrantenthermometer, Fig. 269. Der Compensationsstreifen $f\,g\,h$, aus Kupfer und Stahl zusammengesetzt, ist bei f befestigt und krümmt sich über g nach h. Um eine Axe dreht sich ein Hebel, dessen kurzer Arm stets gegen den Streifen bei h angelehnt und dessen größerer Arm b mit Zähnen $d\,d'$

versehen ist. Die kleinen Bewegungen, welche durch die Ausdehnung am Ende *h* bewirkt werden, sind auf diese Weise schon im Verhältniß der Hebelarme vergrößert. Die Zähne *d d'* greifen in ein kleines, um die centrale Axe drehbares Getriebe; die Nadel *l i* endlich, welche um dieselbe Axe drehbar ist, vergrößert noch die Bewegung des Getriebes. Wenn sich der Compensationsstreifen in Folge einer Temperaturveränderung stärker krümmt, so werden dadurch die Zähne in der Richtung von *d* nach *d'* gedreht, während, wenn der Compensationsstreifen sich nach entgegengesetzter Richtung bewegt, die rückgängige Bewegung des Zeigers durch eine um die centrale Axe gewundene Spiralfeder bewirkt wird. Man berechnet die Dimensionen so, daß eine Temperaturerhöhung von 100° C. ungefähr eine Umdrehung der Nadel bewirkt. Instrumente dieser Art müssen nach einem Quecksilberthermometer graduirt werden, entweder von Grad zu Grad, oder doch wenigstens von 10 zu 10 Grad.

Fig. 270.



Breguet's Thermometer ist unter allen Metallthermometern das empfindlichste. Es besteht aus einem 1 bis 2 Millimeter breiten Bande von Metall, welches spiralförmig aufgewunden ist, wie Fig. 271 zeigt. Oben ist die Spirale an einem Stücke Messing befestigt, von dem sie frei herunterhängt. An ihrem untern Ende trägt sie eine horizontale, sehr leichte Nadel, deren Spitze einen getheilten Kreis durchläuft. Die Kreisscheibe ist in der Mitte durchbrochen und ruht auf drei Füßen, damit die Luft leicht zwischen den Windungen der Spiralen circuliren kann. Der ganze Apparat ist mit einer Glasglocke bedeckt, damit er vor äußeren Störungen gesichert ist.

Fig. 271.

Das Spiralband ist aus drei über einander gelegten Metallschichten zusammengesetzt, Silber, Gold und Platin; der Goldstreifen ist in der Mitte und dient, um die beiden anderen Metalle zusammenzulöthen. Da ein solches System immer noch eine bedeutende Dicke hat, so wird es ausgewalzt, bis seine ganze Dicke $\frac{1}{60}$ Millimeter beträgt. Man kann daraus schließen, wie außerordentlich gering die Masse dieses Bandes ist, und wie schnell es also die Temperatur der Luft annimmt, die es berührt.

Durch die ungleiche Ausdehnung von Silber und Platin wird die

Spirale auf- und zugewunden; wenn also die Temperatur steigt oder sinkt, so wird sich die Nadel bewegen. Auch dieses Instrument wird nach einem Queckſilberthermometer graduirt.

Ungleiche Ausdehnung der Kryſtalle nach verſchiedenen Richtungen. 115 Mitſcherlich hat nachgewieſen, daß Kryſtalle, welche nicht dem regulären Syſtem angehören, nach verſchiedenen Richtungen hin eine ungleiche Ausdehnung durch die Wärme erleiden.

Es läßt ſich dies am leichteſten am kryſtalliſirten Gyps und zwar an der Varietät nachweiſen, von welcher ſchon in der Lehre vom Lichte die Rede war. Man findet häufig Zwillingskryſtalle dieſes Minerals, welche ungefähr die Geſtalt Fig. 272 haben und unter dem Namen »Schwalbenſchwänze« bekannt ſind. Aus einer ſolchen Platte wird ein Stück in der Weiſe herausgeſchnitten, daß die Schnittflächen $a\,b$ und $d\,e$ rechtwinklig auf der Zuſammenſetzungsfläche $m\,m'$ der beiden Individuen ſtehen. Bei der Temperatur, bei welcher der Kryſtall geſchliffen wird, ſind

Fig. 272.

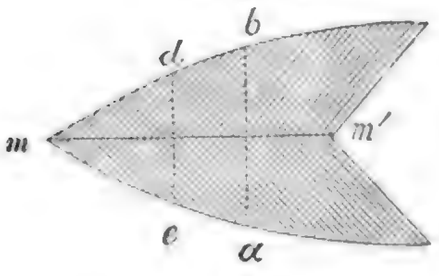
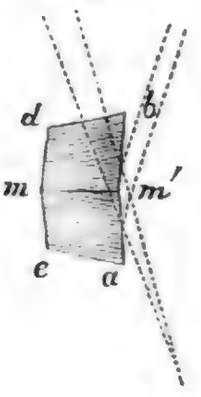


Fig. 273.



dieſe beiden Schnittflächen vollkommen eben; ſobald man aber den Kryſtall auf 60 bis 80° erwärmt, erſcheinen die beiden Flächen gebrochen, wie dies in Fig. 273 angedeutet iſt, denn man erblickt, nach $b\,m'\,a$ hinſehend, zwei Spiegelbilder eines entfernten Gegenſtandes, woraus hervorgeht, daß der Kryſtall durch ungleichförmige Ausdehnung ſeine Geſtalt verändert hat.

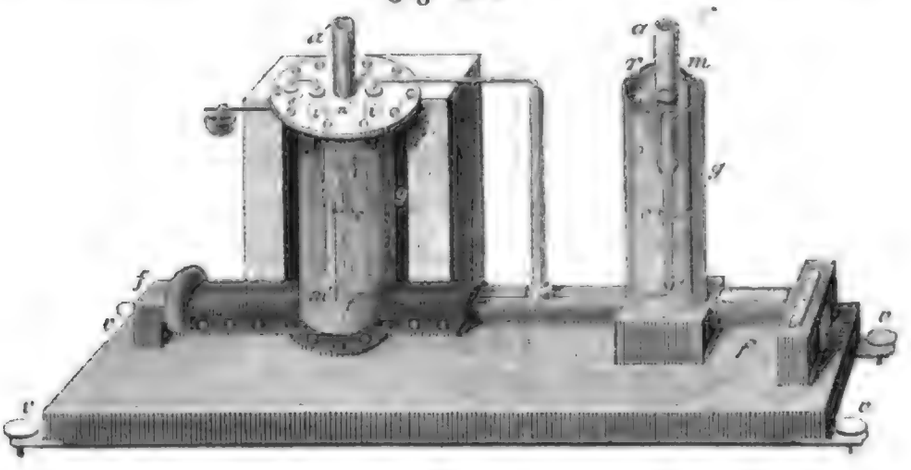
Aehnliche Erſcheinungen laſſen ſich auch hervorbringen, wenn man zwei Kryſtalle ſo zuſammenkittet, daß die Richtung der Axen in beiden verſchieden iſt, und dann in ähnlicher Weiſe eine Fläche anſchleift, wie beim Gypszwilling; dieſe Fläche wird alsdann beim Erwärmen gebrochen erſcheinen.

Ausdehnung der Flüſſigkeiten. 116 Bei den Flüſſigkeiten haben wir eine abſolute und eine ſcheinbare Ausdehnung zu unterſcheiden. Die ſcheinbare Ausdehnung iſt die, welche man an den in Gefäßen eingeſchloſſenen Flüſſigkeiten wirklich beobachtet; die abſolute Ausdehnung dagegen iſt diejenige, welche man beobachten würde, wenn ſich das Gefäß ſelbſt durchaus nicht ausdehnte.

Dulong und Petit haben die abſolute Ausdehnung des Queckſilbers direct mittelſt eines Apparates beſtimmt, welcher auf dem hydroſtatiſchen Principe beruht, daß die Höhe flüſſiger Säulen, welche ſich das Gleichgewicht halten, im umgekehrten Verhältniſſe der Dichtigkeit ſteht.

In Fig. 274 ſtellen $a\,t$ und $a'\,t'$ zwei vertikale Röhren dar, welche durch die horizontale Röhre $t\,t'$ verbunden ſind; ſie werden bis zur

Fig. 274.



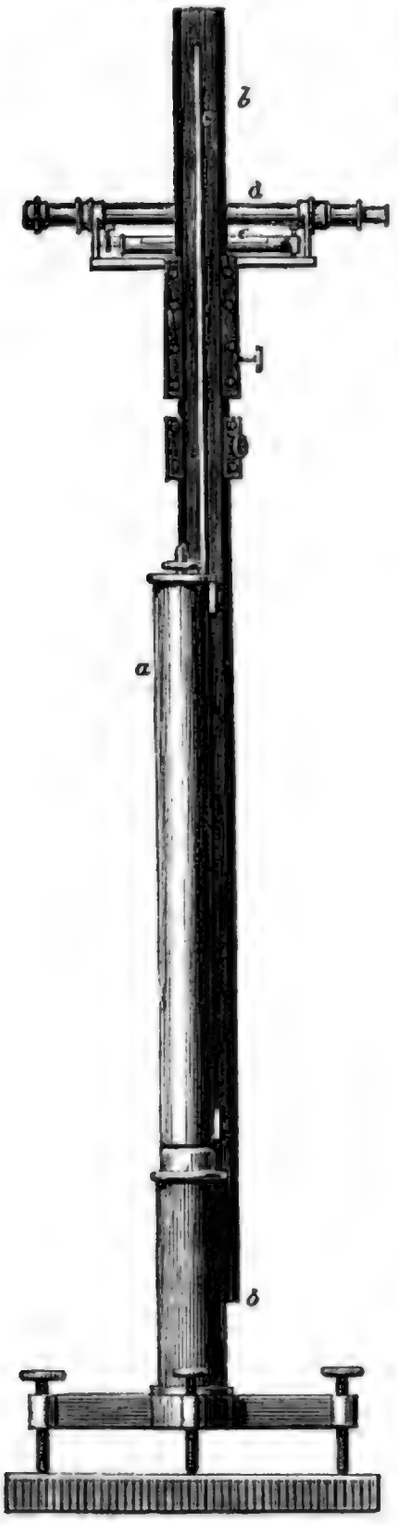
Höhe $n\,n'$ mit Queckſilber gefüllt. Die Röhren ſind ſo weit, daß die Capillarität keinen nachtheiligen Einfluß ausüben kann. Dieſer Apparat iſt auf einer eiſernen Platte $f\,f$ befeſtigt, welche ſelbſt wieder auf einem ſtarken Brette von Holz ruht, welches durch die Schrauben v ins Niveau geſtellt werden kann. Die eiſernen Stäbe m und m' mit den Ringen c und c' erhalten die Röhren in vertikaler Stellung. Der Stab m endigt oben mit einem eiſernen Bügel, deſſen Ende r als Viſirpunkt dient.

Einer der Schenkel wird fortwährend auf der Temperatur von 0° erhalten, während der andere nach und nach erwärmt wird, und Alles kommt darauf an, mit Genauigkeit die ungleichen Höhen der beiden Queckſilberſäulen und die Temperatur der erwärmten zu beſtimmen.

Die Höhe der Säulen über der Axe der Röhre $t\,t'$ werden durch ein beſonderes Inſtrument gemeſſen, welches man Kathetometer nennen kann. Ein mit drei Stellſchrauben verſehener Fuß, Fig. 275, trägt einen maſſiven vertikalen Stab, um welchen ſich eine Hülſe a frei, jedoch mit etwas Reibung, drehen läßt. Ein getheilter Stab $b\,b$ iſt an dieſer Hülſe befeſtigt. Der getheilte Stab iſt durch einen Anſatz c unbiegſam gemacht. Ein horizontales Fernrohr d, welches mit einer Libelle e, einer Corrections- und einer Stellſchraube verſehen iſt, kann auf der ganzen Länge des getheilten Stabes $b\,b$ auf- und niedergeſchoben werden. Der Träger des Fernrohrs iſt mit einem Nonius verſehen, welcher ſich an der Theilung

des Stabes hin bewegt, und mit Hülfe deſſen man noch $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{30}$ Millimeter ſchätzen kann. Um das Inſtrument zu reguliren, wird das Fernrohr mittelſt der Libelle genau horizontal geſtellt und dann das ganze Inſtrument mittelſt der Stellſchraube des Fußes ſo gerichtet, daß man mit dem getheilten Stabe eine ganze Umdrehung um die feſte Axe machen kann, ohne daß das Niveau der Libelle ſich ändert. Fig. 275 ſtellt den Aufriß, Fig. 277 den Grundriß und Fig. 276 die Anſicht des Fernrohrs von der andern Seite dar.

Fig. 275.



Zu den fraglichen Verſuchen wird das Kathetometer in einiger Entfernung ſo aufgeſtellt, daß man bald die eine, bald die andere der beiden Röhren $a\,t$ und $a'\,t'$, Fig. 274, ins Geſichtsfeld des Fernrohrs bekommt, wenn man die Hülſe a etwas um ihre vertikale Axe dreht. Man beſtimmt nun ein für allemal die Höhe des Viſirpunktes r über der Axe der horizontalen Röhre t'. Iſt dies geſchehen, ſo begnügt man ſich damit zu beſtimmen, wie viel man, vom Viſirpunkte r ausgehend, das Fernrohr auf- oder niederſchieben muß, um die Gipfel der beiden Queckſilberſäulen nach einander in die Richtung der Axe des Fernrohrs zu bringen.

Fig. 276.

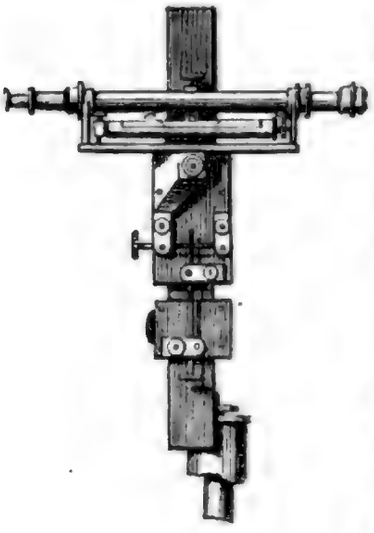
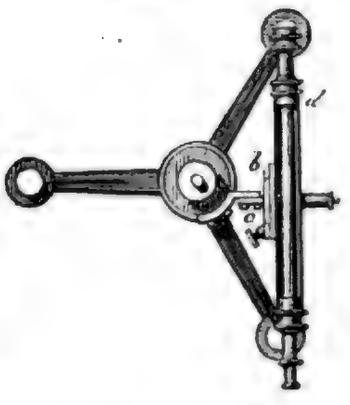


Fig. 277.



Die Temperaturen werden auf folgende Art beſtimmt. Ein Cylinder g, welcher die Röhre $a\,t$ umgiebt, wird mit geſtoßenem Eiſe angefüllt. Nach dem Gipfel der Queckſilberſäule viſirt man durch ein Fenſter o. Da die

Temperatur des Stabes m immer unverändert bleibt, ſo iſt auch der Viſirpunkt r vollkommen feſt. Die Röhre $a'\,t'$ iſt ebenfalls von einem Cylinder g aus Kupferblech umgeben, der mit einem fixen Oele angefüllt wird, welches wenigſtens bis 300° erhitzt werden kann, ohne zu kochen. Dieſer Kupfercylinder iſt wieder von einem Ofen umgeben, welcher dazu dient, die Temperatur des Oelbades zu erhöhen. Vor jeder Beobachtung wurden alle Oeffnungen des Ofens verſchloſſen, in Folge deſſen die Temperatur wenigſtens ſo lange Zeit, als man zur Beobachtung nöthig hat, conſtant bleibt.

Die Temperatur wird durch zwei Thermometer i und i' beſtimmt, von denen das eine ein Luftthermometer, das andere ein Gewichts-Queckſilberthermometer iſt. Die Einrichtung und den Gebrauch derſelben werden wir alsbald kennen lernen.

Nach dieſer Methode, welche von der Ausdehnung des Glaſes ganz unabhängige Reſultate giebt, fanden Dulong und Petit, daß ſich das Queckſilber bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis 100° um $\frac{1}{55{,}50}$ oder, was daſſelbe iſt, um 0,018018 . . . ſeines Volumens ausdehnt, d. h. wenn man mit v das Volumen einer Queckſilbermaſſe bei 0° bezeichnet, ſo wird dieſelbe Maſſe bei 100° ein Volumen 1,018 . v einnehmen.

Wenn man die Temperaturen des Oelbades nach dem Luftthermometer beſtimmt, ſo findet man, daß der Ausdehnungscoëfficient des Queckſilbers über 100° hinaus zunimmt.

Die ſcheinbare Ausdehnung einer Flüſſigkeit iſt die Differenz zwiſchen ihrer abſoluten Ausdehnung und der kubiſchen Ausdehnung des Gefäßes, in welchem ſie ſich befindet. Um die ſcheinbare Ausdehnung zu beſtimmen, kann man die beiden folgenden Methoden anwenden.

Man beobachtet den Gang eines Thermometers, von welchem man ganz genau ausgemittelt hat, in welchem Verhältniſſe das Volumen eines ſolchen Röhrenſtücks, welches zwiſchen zwei Theilſtrichen liegt, zum Inhalte der Kugel ſteht. Es iſt in der Regel mit großen Schwierigkeiten verbunden, dieſes Verhältniß genau zu beſtimmen.

Die zweite Methode beruht auf der Anwendung eines ſogenannten Gewichtsthermometers, welches ſo eben ſchon erwähnt wurde. Ein Glasgefäß, am beſten von der Fig. 278 dargeſtellten Form, welches in eine feine gekrümmte Spitze ausgezogen iſt, wird mit Queckſilber von 0° gefüllt. Man beſtimmt alsdann das Gewicht des bei 0° im Gefäße enthaltenen Queckſilbers und erwärmt es, indem man es in ein geeignetes Waſſer- oder Oelbad bringt. Je mehr die Temperatur ſteigt, deſto mehr Queckſilber wird aus der feinen Oeffnung hervordringen. Aus der Menge des Queck-

Fig. 278.

ſilbers, welches auf dieſe Weiſe aus dem Gefäße heraustritt, kann man die ſcheinbare Ausdehnung ermitteln. Geſetzt, das Queckſilber, welches bei 0° einen ſolchen Apparat füllt, habe 264 Gramm gewogen; man habe es bis 100° erwärmt, und dabei ſey ſo viel Queckſilber ausgetreten, daß das, was im Gefäße zurückbleibt, nur noch 260 Gramm wiegt, ſo iſt klar, daß das Queckſilber, wenn man die Ausdehnung des Gefäßes nicht berückſichtigen müßte, bei einer Temperaturerhöhung von 100° ſich im Verhältniß von 260 zu 264 ausdehnte, d. h. alſo, die ſcheinbare Ausdehnung des Queckſilbers von 0° bis 100° beträgt $\frac{4}{260}$ oder $\frac{1}{65}$.

Das Seite 284 angeführte Gewichts-Queckſilberthermometer, mit Hülfe deſſen man die Temperatur des Oelbades beſtimmt, iſt ein Apparat dieſer Art. Man beſtimmt die Temperatur nach der Quantität des ausgetretenen Queckſilbers.

Wenn die ſcheinbare Ausdehnung einer Flüſſigkeit und die kubiſche Ausdehnung des Gefäßes bekannt iſt, ſo kann man die abſolute Ausdehnung berechnen; umgekehrt kann man die kubiſche Ausdehnung des Gefäßes beſtimmen, wenn man die abſolute und ſcheinbare Ausdehnung der Flüſſigkeit kennt.

Dulong und Petit fanden für die ſcheinbare Ausdehnung des Queckſilbers in Glasgefäßen von 0° bis 100° $\frac{1}{64{,}80}$, oder, was daſſelbe iſt, 0,015432. Da nun die abſolute Ausdehnung des Queckſilbers nach ihren Verſuchen für eine gleiche Temperaturerhöhung 0,018018 iſt, ſo iſt die kubiſche Ausdehnung des Glasgefäßes $0{,}018018 - 0{,}015432 = 0{,}002586$. Nun aber findet man den Ausdehnungscoëfficienten für die lineare Ausdehnung eines Körpers, wenn man den Ausflußcoëfficienten für die kubiſche Ausdehnung durch 3 dividirt. Für die Längenausdehnung des Glaſes ergiebt ſich demnach der Ausdehnungscoëfficient 0,000862, wie man ihn auch auf Seite 277 angegeben findet. Auf dieſem Wege haben Dulong und Petit wirklich den Ausdehnungscoëfficienten des Glaſes beſtimmt.

Durch ſehr genaue Verſuche hat Regnault gezeigt, daß die Ausdehnung verſchiedener Glasſorten bei höheren Temperaturen ſo ungleichförmig iſt, daß dadurch ein ganz verſchiedener Gang der Thermometer veranlaßt wird, ſo daß zwei Thermometer, deren Kugeln aus verſchiedenen Glasſorten gefertigt ſind und welche zwiſchen 0° und 100° genau mit einander gehen, über 100° hinaus differiren. So gab ein Thermometer von Kryſtallglas 340,07 Grad an, während ein bis 100° mit ihm harmonirendes gleichzeitig in demſelben Oelbade 333,72° zeigte; die Differenz beider Thermometer betrug alſo 6,35°.

Die meiſten Füſſigkeiten dehnen ſich ſelbſt zwiſchen 0° und 100° nicht regelmäßig aus, wie wir dies alsbald ſehen werden.

Um die Ausdehnung verschiedener flüssiger Körper durch den Versuch zu bestimmen, kann man sich eines Apparates bedienen, wie der ist, welcher Fig. 278 abgebildet ist und benutzt wird, die scheinbare Ausdehnung des Queckſilbers zu finden; ungleich bequemer aber ist der Fig. 279 abgebildete, von Gay-Luſſac angegebene Apparat. Der Hals eines Glasgefäßes von entsprechender Größe ist an einer Stelle ganz eng ausgezogen, so daß sich über der engen Stelle gewissermaßen ein Trichter befindet. Die engste Stelle des Halses *a* ist auf irgend eine Weise markirt. Man füllt nun die Kugel mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, so daß sie noch über *a* hinaus im Trichter steht, und erkaltet das Ganze bis auf 0°, indem man den ganzen Apparat mit schmelzendem Schnee oder schmelzendem Eise umgiebt. Ist die Flüssigkeit bis auf 0° erkaltet, so entfernt man alle Flüssigkeit, welche noch über der Marke steht. Wenn man die so gefüllte Kugel wiegt, vom gefundenen Gewichte das des Glasgefäßes abzieht, so erhält man das Gewicht der Flüssigkeit, welche bei 0° in die Kugel geht. Sobald man die Kugel erwärmt, dehnt sich die Flüssigkeit aus, sie steigt über die Marke *a* in den Trichter. Wenn man bis zu einer bestimmten Temperatur, etwa bis auf 100°, erwärmt hat, nimmt man alle über *a* stehende Flüssigkeit wieder weg und wiegt dann von Neuem. Nach den beiden Wägungen läßt sich dann leicht die scheinbare Ausdehnung berechnen.

Fig. 279.

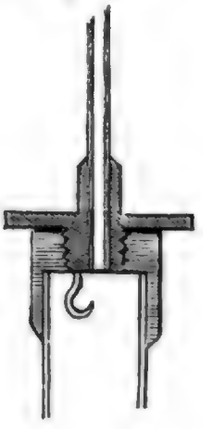
117 **Dichtigkeit des destillirten Wassers.** Alle Körper ändern fortwährend, unter dem Einflusse der Wärme, ihr Volumen, sie ändern also auch ihre Dichtigkeit; im Gesetze dieser Veränderungen macht aber das Waſſer eine merkwürdige Ausnahme. Wenn man von 0° an seine Temperatur erhöht, zieht es sich zusammen, anstatt sich auszudehnen; es zieht sich mehr und mehr zusammen bis zu einer Temperatur von 4°, und von dieser Temperatur an dehnt es sich dann aus, wenn es noch mehr erwärmt wird. Bei einer Temperatur von 4° hat also das Wasser ein Dichtigkeitsmaximum. Am besten läßt sich dieses Phänomen an einem Wasserthermometer beobachten; um aber die Erscheinung recht deutlich zu machen, muß man ein Thermometer von etwas großen Dimensionen anwenden; ganz besonders möchte in dieser Hinsicht der Fig. 280 auf der folgenden Seite abgebildete Apparat zu empfehlen seyn.

Ein Ballon, welcher ungefähr 1 Liter hält, ist mit einer messingenen Fassung versehen, in welche eine in Messing gefaßte Glasröhre aufgeschraubt werden kann, wie Fig. 281 deutlicher zeigt. Zwischen der obern Fläche der Fassung des Ballons und der Fassung der Röhre ist eine mit

Talg getränkte Lederscheibe eingelegt, so daß man überzeugt seyn kann, daß bei gehörigem Anziehen der Schraube hier kein Wasser entweicht. Am untern Ende der Schraube ist ein Häkchen angebracht, an welches man ein Thermometer hängen kann. Dieses Thermometer, ganz von dem Wasser des Ballons umgeben, zeigt die Temperatur desselben. Zu genauer Messung der Temperatur kann jedoch dieses Thermometer nicht dienen, weil man es der Lichtbrechung wegen nicht ganz richtig ablesen kann. An der Glasröhre ist ein getheilter Stab angebracht, um darauf die Variationen der Wassersäule im Rohre abzulesen. Zum Nullpunkte der Theilung kann man den untersten Punkt des getheilten Stabes nehmen.

Fig. 280.

Fig. 281.



Mit einem Apparate dieser Art wurden folgende Beobachtungen gemacht:

Temperatur des Wassers.	Stand des Wassers in der Röhre.	Reducirter Wasserstand.
0	48,75^{cm}	48,75^{cm}
1,56	39,25^{cm}	42,79^{cm}
3,5	31,25^{cm}	39,19^{cm}
4	30,3^{cm}	39,38^{cm}
5,25	29,17^{cm}	41,09^{cm}
5,75	29,12^{cm}	42,17^{cm}
8	32,25^{cm}	50,41^{cm}
9	36,25^{cm}	56,68^{cm}
12	56,25^{cm}	82,49^{cm}
16,25	89,25^{cm}	126,14^{cm}

Während also bei einer Temperatur von 0^0 das Wasser in der Röhre 48$^3/_4$ Centimeter über dem Nullpunkte stand, sank es bis auf 29,12^{cm}, also um 19,63^{cm}, während die Temperatur um 5,75^0 stieg; bei noch mehr wachsender Temperatur stieg aber das Wasser in der Röhre wieder. Diese Beobachtungsreihe, welche Figur 282 durch die Linie *a b* graphisch dargestellt ist, scheint auf den ersten Anblick anzudeuten, daß das Dichtig-

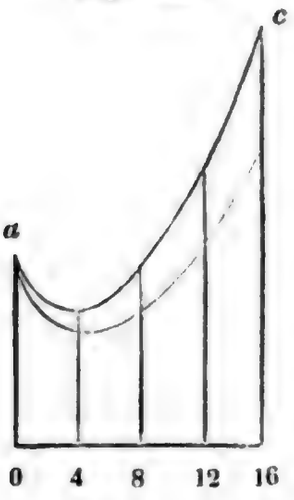
keitsmaximum des Wassers bei einer Temperatur von $5^1/_4{}^0$ stattfindet; aus dieser Beobachtungsreihe aber folgt ein ganz anderes Resultat, wenn man die Ausdehnung des Glasgefäßes mit in Rechnung bringt.

Wenn von 0^0 an die Temperatur steigt, zieht sich das Wasser zusammen, das Volumen des Glasgefäßes aber vergrößert sich; das beobachtete Sinken der Wassersäule ist also gleichsam die Summe zweier Wirkungen, der Contraction des Wassers und der Ausdehnung des Glases; um genau die Lage des Dichtigkeitsmaximums und die Größen-Veränderungen in der Dichtigkeit des Wassers zu ermitteln, muß man genau die Capacität des Gefäßes und der Röhre ausmitteln.

Der Inhalt des Ballons betrug bei jenem Apparat 1016 Kubikcentimeter, ein Röhrenstück von 10 Centimeter Länge hatte aber eine Capacität von 0,118 Kubikcent. Berechnet man die kubische Ausdehnung des Glasgefäßes für 1^0 C., so findet man, daß es sich für eine solche Temperaturerhöhung um 0,02682 Kubikcent. ausdehnt; wenn also das Wasser unter dem Einflusse der Wärme sich weder ausdehnte, noch zusammenzöge, so würde doch, so oft die Temperatur um 1^0 steigt, in Folge der Glasausdehnung das Wasser in der Röhre um 2,27 Centimeter sinken, da, wie man leicht berechnen kann, ein Röhrenstück von 2,27 Centimeter Länge einen kubischen Inhalt von 0,0268 Kubikcentimetern hat.

Nun ist es leicht, den Einfluß der Glasausdehnung auf den Gang der Erscheinung nachzuweisen; wenn keine Glasausdehnung stattfände und der Ballon stets dieselbe Capacität hätte wie bei 0^0, so würde bei 1^0 das Wasser um $2{,}27^{cm}$, bei 2^0 und $2 \cdot 2{,}27$, bei 3^0 um $3 \cdot 2{,}27$ u. s. w. höher stehen, als man beobachtet hat. Berechnet man auf diese Weise für jede der in obiger Tabelle enthaltenen Temperaturen den Wasserstand, wie er seyn würde, wenn die Glasausdehnung nicht influirte, so erhält man die Zahlen der dritten Columne, welche den Gang der Zusammenziehung und der Ausdehnung des Wassers darstellen. Nach diesen Zahlen ist die wahre Ausdehnungscurve *a c*, Fig. 282, des Wassers construirt. Man sieht, daß das Dichtigkeitsmaximum wirklich in der Nähe von 4^0 liegt.

Fig. 282.



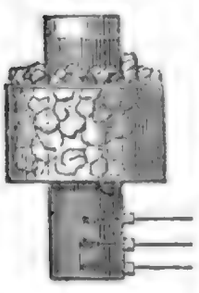
Wenn man beabsichtigt, mit diesem Apparate genaue Messungen zu machen, so muß man ihn in einem Zimmer aufstellen, in welchem kein sehr rascher Temperaturwechsel stattfinden kann, denn nur in diesem Falle kann die Temperatur der ziemlich bedeutenden Wassermasse der Temperatur der Umgebung folgen. Man beobachtet dann von Zeit zu Zeit die correspondi-

renden Temperaturen und Wasserstände in der Röhre. Begreiflicherweise erfordert eine vollständige Beobachtungsreihe der Art eine Zeit von wenigstens einigen Monaten. Bei der Beobachtungsreihe, deren Resultate in der Tabelle auf Seite 287 angeführt sind, wurden nicht alle Vorsichtsmaßregeln angewandt, um ein ganz genaues Resultat zu sichern; doch sind diese Resultate der Wahrheit gewiß sehr nahe und dienen sehr gut, um den Gang des Phänomens zu übersehen.

Diese merkwürdige Eigenschaft des Wassers wurde schon im 17ten Jahrhundert von den Mitgliedern der Academia del Cimento beobachtet. Sie veranlaßt die Erscheinung, daß, wenn man mitten in ein etwa 8 Zoll hohes und 3 Zoll weites, mit warmem Wasser gefülltes Gefäß zwei Thermometer so einsenkt, daß die Kugel des einen etwa 2 Zoll unter dem Wasserspiegel, die des andern aber 2 Zoll über dem Boden sich befindet, dann das Gefäß in einem 1^0 bis 2^0 warmen Zimmer langsam erkalten läßt, daß alsdann anfangs das untere Thermometer tiefer steht, daß ohngefähr bei 4^0 beide Thermometer gleich stehen, daß aber bei fernerm Erkalten das untere Thermometer eine höhere Temperatur zeigt. Anfangs ist nämlich das an den Wänden des Gefäßes abgekühlte Wasser schwerer als das etwas wärmere Wasser in der Mitte, es entsteht also ein Strom, das warme Wasser steigt in der Mitte, das kältere sinkt auf den Seiten. Dieser Strom kehrt seine Richtung um, sobald die Erkaltung unter 4^0 fortgeschritten ist. Bei der Temperatur des Dichtigkeitsmaximums findet gar kein Strom Statt, und beide Thermometer zeigen gleiche Temperatur. Tralles, Hope und Hallström haben die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums gerade dadurch bestimmt, daß sie beobachteten, bei welcher Temperatur jene beiden Thermometer gleichstehen.

Man kann zu diesem Versuche auch den Fig. 283 abgebildeten Apparat anwenden, bei welchem die Erkaltung durch Eisstücke hergebracht wird, die sich in einer Hülle befinden, welche den obern Theil des mit Wasser gefüllten Gefäßes umgiebt.

Fig. 283.



Die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums ist 4^0, als Mittel aus den besten Beobachtungen, welche zwischen $3{,}790^0$ und $4{,}108^0$ schwanken. Diese Differenzen zwischen den Beobachtungen sind leicht erklärlich, wenn man bedenkt, wie außerordentlich wenig sich die Dichtigkeit des Wassers in der Nähe dieses Punktes ändert.

Die Dichtigkeit des Wassers für verschiedene Temperaturen zwischen 0^0 und 30^0 bestimmte Hallström mit Hülfe der hydrostatischen Wage. Nach seinen Beobachtungen beträgt die Contraction des Wassers von 0^0 bis zur Temperatur der größten Dichtigkeit 0,00010824 seines Volumens. Despretz suchte die Dichtigkeit des Wassers zwischen 4^0 und 100^0 durch die Beobachtung

thermometerartiger Apparate zu beſtimmen. Seine Angaben möchten wohl die genaueſten unter allen ſeyn. Er machte 19 Beobachtungen zwiſchen 4° und 100° und entwarf danach mittelſt graphiſcher Interpolation die folgende Tabelle.

Wahre Volumina des Waſſers nach Despretz.

Temp.	Volumen.	Temp.	Volumen.	Temp.	Volumen.	Temp.	Volumen.
4°C.	1,0000000	29°C	1,00403	53°C	1,01345	77°C	1,02694
5	1,0000082	30	1,00433	54	1,01395	78	1,02761
6	1,0000309	31	1,00463	55	1,01445	79	1,02823
7	1,0000708	32	1,00494	56	1,01495	80	1,02885
8	1,0001216	33	1,00525	57	1,01547	81	1,02954
9	1,0001879	34	1,00555	58	1,01597	82	1,03022
10	1,0002684	35	1,00593	59	1,01647	83	1,03090
11	1,0003598	36	1,00624	60	1,01698	84	1,03156
12	1,0004723	37	1,00661	61	1,01752	85	1,03225
13	1,0005862	38	1,00699	62	1,01809	86	1,03293
14	1,0007146	39	1,00734	63	1,01862	87	1,03361
15	1,0008751	40	1,00773	64	1,01913	88	1,03430
16	1,0010215	41	1,00812	65	1,01967	89	1,03500
17	1,0012067	42	1,00853	66	1,02025	90	1,03566
18	1,00139	43	1,00894	67	1,02085	91	1,03639
19	1,00158	44	1,00938	68	1,02144	92	1,03710
20	1,00179	45	1,00985	69	1,02200	93	1,03782
21	1,00200	46	1,01020	70	1,02255	94	1,03852
22	1,00222	47	1,01067	71	1,02315	95	1,03925
23	1,00244	48	1,01109	72	1,02375	96	1,03999
24	1,00271	49	1,01157	73	1,02440	97	1,04077
25	1,00293	50	1,01205	74	1,02509	98	1,04153
26	1,00321	51	1,01248	75	1,02562	99	1,04228
27	1,00345	52	1,01297	76	1,02631	100	1,04315
28	1,00374						

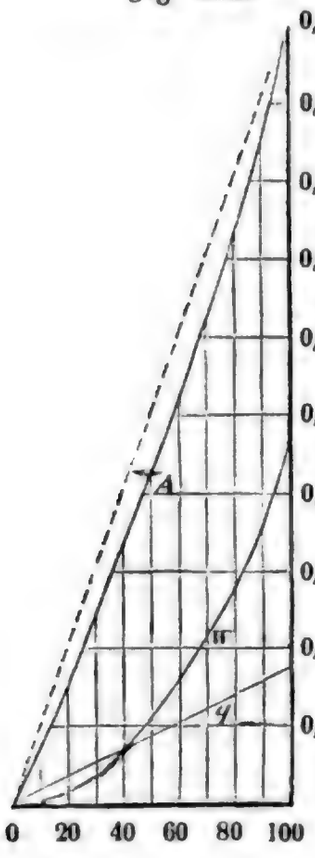
Wenn man die Dichtigkeit des Waſſers bei 4° gleich 1 ſetzt, ſo erhält man nach dieſer Tabelle die Dichtigkeit des Waſſers für jede andre Temperatur, wenn man das dieſer Temperatur entſprechende Volumen in 1 dividirt.

Das Phänomen des Dichtigkeitsmaximums ſcheint, als eine zufällige Ausnahme der allgemeinen Ausdehnungsgeſetze, nicht von beſonderer Wichtigkeit zu ſeyn, wir werden jedoch weiter unten ſehen, welch eine wichtige Rolle es in dem Haushalte der Natur ſpielt. Nur in Folge dieſer Ei-

genschaft können in höheren Breiten Flüsse und Seen in einer gewissen Tiefe stets flüssig bleiben, nur dadurch ist es möglich, daß die lebenden Geschöpfe, welche die Gewässer bevölkern, in allen Jahreszeiten aushalten können.

Die Figur 284 dient dazu, den Gang der Ausdehnung von Quecksilber, Wasser und Weingeist anschaulich zu machen und unter einander zu vergleichen. Die unterste Curve stellt das Ausdehnungsgesetz des Quecksilbers dar, sie ist eine gerade Linie, weil diese Flüssigkeit sich zwischen 0° und 100° gleichförmig ausdehnt. Das Wasser dehnt sich zwischen diesen Temperaturgrenzen stärker aus, und zwar um 0,045 seines Volumens bei 0°, allein die Ausdehnung ist unregelmäßig. Die mittlere Curve stellt das Ausdehnungsgesetz des Wassers dar, sie zeigt anfangs eine Contraction, bei 8° ist die Dichtigkeit des Wassers wieder so groß wie bei 0°, bei wachsender Temperatur dehnt sich aber das Wasser in einem immer wachsenden Verhältnisse aus, wie man aus der Curve leicht ersieht. Die oberste Curve stellt die Ausdehnung des Weingeistes dar; diese Curve bildet anfangs eine gerade Linie, denn der Weingeist dehnt sich bis 50° gleichförmig aus, von da an aber in wachsendem Verhältnisse. Aus der Vergleichung der Ordinaten ersieht man, um den wievielten Theil des Volumens bei 0° sich jene Flüssigkeiten bei einer bestimmten Temperaturerhebung ausdehnen.

Fig. 284.



Bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 40° C. dehnt sich Schwefeläther um 0,0639 seines Volumens bei 0°, Steinöl um 0,106 bei einer Erwärmung von 0 bis 95°.

Ausdehnung gasförmiger Körper. Da die Wärme ein Agens ist, 118
welches die Körper ausdehnt, also die Theilchen weiter von einander entfernt, so wirkt sie offenbar der Cohäsionskraft entgegen. Nun aber ist die Cohäsionskraft bei festen Körpern am stärksten, die ausdehnende Kraft der Wärme wird also bei festen Körpern den größten Widerstand zu überwinden haben; die festen Körper können also diesem Raisonnement zufolge durch die Wärme nicht so stark ausgedehnt werden als flüssige und gasförmige. Die Erfahrung bestätigt dies vollkommen. Wir können aber weiter schließen, daß, da die Cohäsionskraft, welche die Theilchen verschiedener fester Körper zusammenhält, nicht gleich ist, verschiedene feste Körper sich ungleich ausdehnen werden. Bei hohen Temperaturen sind die Theilchen der festen Körper schon weiter von einander entfernt als bei niedrigen, bei hohen

Temperaturen setzt also die Cohäsionskraft einer fernern Ausdehnung auch einen geringern Widerstand entgegen; bei hohen Temperaturen wird also der Ausdehnungscoëfficient eines und desselben festen Körpers größer seyn müssen als bei niedrigen. Auch dies wird durch die Erfahrung bestätigt. Ueberträgt man diese Schlüsse auf Flüssigkeiten, so folgt, daß verschiedene Flüssigkeiten verschiedene Ausdehnungscoëfficienten haben werden, und daß dieselbe Flüssigkeit sich bei höheren Temperaturen verhältnißmäßig mehr ausdehnen werde als bei niedrigen, was auch, wie wir beim Queckſilber, Weingeist und Wasser gesehen haben, der Fall ist.

Bei gasförmigen Körpern ist die Wirkung der Cohäsionskraft auf die einzelnen Theilchen gleich Null, die Cohäsionskraft setzt also der ausdehnenden Kraft der Wärme kein Hinderniß mehr entgegen. Daraus ergeben sich mehrere wichtige Folgerungen. Erstens müssen gasförmige Körper durch die Wärme bei weitem stärker ausgedehnt werden als feste und flüssige, was schon durch die oberflächlichsten Versuche bestätigt wird; zweitens muß aber auch die Ausdehnung durch die Wärme nicht nur für alle Gasarten, sondern auch für alle Temperaturen dieselbe seyn, d. h. der Ausdehnungscoëfficient ist derselbe für alle gasförmigen Körper, und alle Gase dehnen sich stets der Zunahme der Temperatur proportional aus.

Die Versuche bestätigen in der That, daß sich alle Gasarten in gleichem Verhältnisse ausdehnen; daß aber die Ausdehnung der Gase der Temperaturzunahme proportional ist, läßt sich durch Versuche nicht nachweisen, weil wir ja kein directes Mittel haben, die Temperatur zu messen, und weil wir ja gerade die Ausdehnung selbst zur Temperaturbestimmung benutzen.

Obgleich uns aber hier der directe Beweis durch den Versuch fehlt, so dürfen wir dennoch die gleichmäßige Ausdehnung der Luft um so mehr als wahr ansehen, als alle übrigen Folgerungen des Raisonnements, welche uns endlich zu diesem Schlusse führten, durch alle Versuche vollständig bewahrheitet sind.

Man hatte sich lange vergeblich bemüht, den Ausdehnungscoëfficienten der Luft zu bestimmen; man erhielt stets stark unter sich abweichende Resultate, was darin lag, daß man die angewandte Luft nicht gehörig von Wasserdämpfen befreit hatte, welche, wie wir bald sehen werden, die Resultate wesentlich modificiren. Gay-Lussac war der erste, welcher constante Resultate erhielt. Nach seinen Bestimmungen ist der Ausdehnungscoëfficient der Luft 0,375, d. h. wenn man Luft von 0^0 bis auf 100^0 erwärmt, so dehnt sie sich um 0,375 oder $^3/_8$ ihres Volumens aus, vorausgesetzt, daß der Druck, unter welchem diese Luftmasse steht, sich nicht ändert.

Gay-Lussac bediente sich zu seinen Versuchen einer Glasröhre, welche

ohngefähr 30 bis 40^{cm} lang 1 bis 1,5^{mm} Durchmeſſer hatte, und an deren einem Ende eine Kugel von etwa 0,8 bis 1^{cm} Durchmeſſer angeblaſen war. Die Röhre war graduirt und das Verhältniß des Kugelinhalts zum Volumen der durch die Theilſtriche auf der Röhre gemachten Abtheilungen derſelben genau beſtimmt. Man gelangt dazu, indem man erſt die Kugel und einen Theil der Röhre mit Queckſilber füllt und das Gewicht des Queckſilbers beſtimmt, dann von Neuem Queckſilber zufüllt und abermals wiegt. Aus dem Verhältniſſe der gefundenen Gewichte läßt ſich dann auf das Verhältniß der Volumina ſchließen.

Nachdem auf dieſe Weiſe der Rauminhalt der Kugel und der Röhre gehörig verglichen ſind, muß die Kugel mit trockner Luft gefüllt und dafür geſorgt werden, daß alle Feuchtigkeit, welche etwa noch an den Glaswänden anhängt, vollſtändig entfernt werde. Dies wird dadurch erreicht, daß man Queckſilber in der Röhre ſieden läßt, gerade ſo, wie man beim Füllen eines gewöhnlichen Thermometers verfährt. Iſt ſo die Feuchtigkeit entfernt und die Kugel ſammt der Röhre mit Queckſilber angefüllt, ſo befeſtigt man am offenen Ende der Röhre ein weiteres Glasrohr, welches mit Stücken von Chlorcalcium gefüllt iſt. Bringt man nun die Röhre in die vertikale Stellung, wie es Fig. 285 zeigt, ſo fließt das Queckſilber aus, und Luft tritt ſtatt deſſen in die Röhre und die Kugel ein, welche vollkommen trocken iſt, weil ſie durch die Chlorcalciumſtücke hat hindurchſtreichen müſſen.

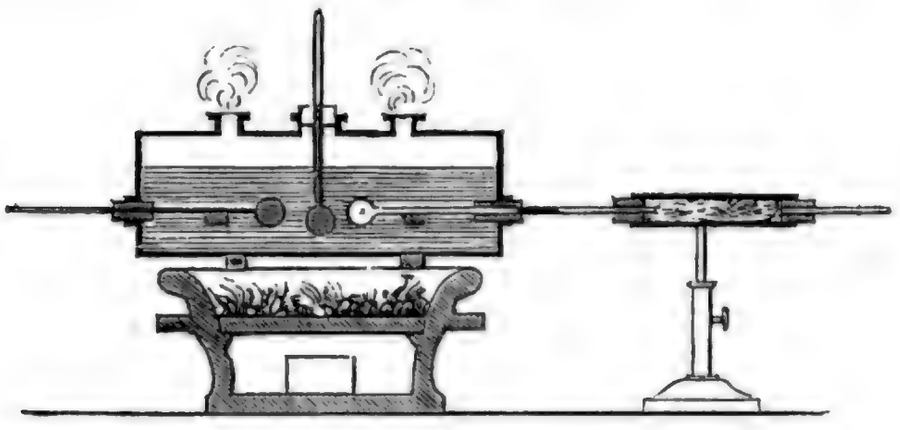
Fig. 285.

Um das Ausfließen des Queckſilbers aus dem etwas engen Rohre zu bewerkſtelligen, ſteckt man durch die Chlorcalciumröhre hindurch in die Röhre des Luftthermometers einen Eiſendraht, den man nur etwas auf- und niederzuſchieben nöthig hat, um das Queckſilber herauszubringen. Wenn man ſo alles Queckſilber bis auf eine geringe Menge aus der Röhre entfernt hat, zieht man den Draht zurück. Die kleine Queckſilberſäule, welche noch zurückbleibt, dient als Index. Es beſteht auf dieſe Weiſe keine Verbindung zwiſchen der Luft, welche in der Kugel abgeſperrt iſt, und der äußern Luft, und die Röhre kann alſo ganz offen bleiben. Bringt man nun dieſes Inſtrument in eine horizontale Lage, ſo hat man ein Luftthermometer.

Man beobachtet den Theilſtrich der Röhre, bei welchem ſich der Index feſtſtellt, wenn der Apparat in geſtoßenes ſchmelzendes Eis gebracht wird. Da man weiß, wie vielmal das Volumen einer Röhrenabtheilung in dem Volumen der Kugel enthalten iſt, ſo iſt durch dieſe Beobachtung das Volumen ausgemittelt, welches die abgeſperrte trockne Luft bei 0^{0} einnimmt. Nun bringt man das Inſtrument in einen Kaſten, Fig. 286, der mit Waſſer gefüllt iſt, welches man bis zu einer beliebigen Temperatur t er-

wärmen kann, und zwar ſo, daß die Röhre noch aus der Wand des Kaſtens hervorragt. Die Röhre wird gerade bis zum Inder in den Kaſten

Fig. 286.



hineingeſchoben, damit alle abgeſperrte Luft die Temperatur des Bades annehme. Bei dieſer Erwärmung dehnt ſich die abgeſperrte Luft aus, der Inder wird weiter von der Kugel fortgetrieben, und man beobachtet, wo er ſich bei irgend einer fixen Temperatur feſtſtellt. Dadurch iſt das vergrößerte Volumen bekannt.

Sollte ſich während des Verſuchs der Barometerſtand geändert haben, ſo iſt dieſe Veränderung mit in Rechnung zu bringen.

Die kubiſche Ausdehnung des Glasgefäßes iſt auch noch in Rechnung zu bringen. Die Correction, welche dadurch veranlaßt wird, iſt jedoch im Vergleich zu der Ausdehnung der Luft höchſt unbedeutend. Wenn man den Ausdehnungscoëfficienten der Luft für eine Temperaturerhöhung von 100° ohne Berückſichtigung der Ausdehnung des Glaſes ermittelt, ſo hat man zu demſelben, um dieſe Vernachläſſigung zu corrigiren, noch 0,002 zu addiren.

Mit Berückſichtigung aller Correctionen fand Gay-Luſſac für den Ausdehnungscoëfficienten der trocknen Luft ſowohl als aller trocknen Gasarten den ſchon angeführten Werth 0,375. Bei einer Unterſuchung, welche Rudberg über die Schmelzpunkte von Zinn, Kadmium und Blei ausführte, drängte ſich ihm Zweifel über die Richtigkeit dieſer für die Wiſſenſchaft ſo wichtigen Conſtanten auf. Er ſuchte dieſelbe nach einer andern Methode zu beſtimmen und fand ſtatt 0,375 die Zahl 0,365.

Rudberg wandte zu ſeinen Verſuchen eine nicht gar lange, mit einer Kugel verſehene Thermometerröhre an, welche auf der andern Seite in eine feine Spitze ausgezogen war. Der Durchmeſſer der Kugel beträgt etwa 2,5 Centimeter. Sie wird dadurch mit trockner Luft gefüllt, daß man die Spitze der Röhre mittelſt eines Korkes in eine Chlorcalciumröhre ſteckt und ſie alsdann durch die Spirituslampe erwärmt. Dadurch wird ein Theil

der in der Kugel enthaltenen Luft ausgetrieben, und diejenige Luftmenge, welche dafür beim Erkalten der Kugel wieder eintritt, ist vollkommen trocken, weil sie ja erst zwischen den Chlorcalciumstücken hindurchstreichen mußte. Diese Operation wiederholte Rudberg etwa 50mal, um auch die letzte Spur von Feuchtigkeit aus der Kugel zu entfernen. Statt dieser Austrocknungsmethode wandte er auch folgende an: Der Apparat mit dem Chlorcalciumrohre wurde mit einer Luftpumpe in Verbindung gebracht, ausgepumpt und dann wieder in die Kugel eingelassen, welche vorher auch durch das Chlorcalcium streichen mußte. Auch diese Operation wurde gegen 50mal wiederholt. Die Resultate fielen ganz gleich aus, es mochte nun die eine oder die andere Austrocknungsmethode angewandt worden seyn.

Nachdem die Luft in der Kugel vollständig getrocknet war, wurde sie in einen Siedeapparat gebracht, d. h. in ein Gefäß von der Art, wie das Seite 267 beschriebene, welches man anwandte, um den Siedepunkt des Thermometers zu bestimmen. Nur die Spitze der Röhre ragt oben aus dem Apparate hervor, so daß die ganze Kugel und fast die ganze Röhre von den aus dem siedenden Wasser aufsteigenden Dämpfen umgeben war. Nachdem man das Sieden des Wassers fast eine Stunde lang unterhalten hatte, konnte man sicher seyn, daß die Luft in der Kugel und in der Röhre wirklich die Temperatur des siedenden Wassers angenommen hatte, und nun wurde die Spitze der Röhre zugeschmolzen.

Nachdem die Kugel erkaltet war, wurde sie auf ein durch einen besondern Träger gehaltenes Metallschälchen gebracht. Dieses Schälchen hatte ungefähr die Größe und Gestalt eines Uhrglases; es hat in der Mitte eine Oeffnung, durch welche die Röhre hindurchgesteckt wird, so daß die zugeschmolzene Spitze nach Unten gerichtet ist und die Kugel auf dem Schälchen ruht. Läßt man die Spitze in ein Gefäß mit Quecksilber eintauchen, so wird, wenn man sie abbricht, das Quecksilber durch die Röhre in die Kugel eindringen und einen Theil derselben ausfüllen, weil die Luftmenge, welche bei der Siedetemperatur die Kugel ganz ausfüllte, jetzt einen kleinern Raum einnimmt. Die noch in der Kugel enthaltene Luft muß aber auf 0^0 erkaltet werden, und dies geschieht dadurch, daß man schmelzenden Schnee auf das Schälchen bringt. In dem Maaße, als der Schnee wegschmilzt, muß neuer nachgebracht werden. War die Kugel lange genug mit dem schmelzenden Schnee in Berührung, so daß man überzeugt seyn kann, sie habe wirklich die Temperatur von 0^0 angenommen, so wird, um das Ausfließen des Quecksilbers aus der Kugel zu verhindern, die Spitze noch unter dem Quecksilber mit etwas Wachs verstopft, die Kugel auf die Wage gebracht und das Gewicht des eingedrungenen Quecksilbers bestimmt (es versteht sich, daß man schon vorher das Gewicht der leeren Kugel be-

ſtimmt hatte). — Wir wollen annehmen, man habe das Gewicht des eingedrungenen Queckſilbers gleich 41,722 Gramm gefunden. —

Dieſes Queckſilber nimmt den Raum ein, um welchen ſich die Luft, welche bei der Siedehitze die Kugel ausfüllte, beim Erkalten bis auf 0^0 zuſammenzog. Die Röhre wurde nun am Ende ſo umgebogen, daß ſie in ein Töpfchen mit Queckſilber gebracht werden konnte, durch ſorgfältiges Auskochen der Kugel alle Luft aus derſelben entfernt, ſo daß ſie ſich beim Erkalten ganz mit Queckſilber füllen mußte. Nach dem Erkalten wurde ſie noch mit Schnee umgeben, ſo daß ſie ſich mit Queckſilber von 0^0 füllen mußte. Durch eine abermalige Wägung wird das Gewicht des Queckſilbers beſtimmt, welches bei 0^0 die ganze Kugel anfüllt. — Es betrage 173,443 Gramm.

Da nach dem Abbrechen der Spitze 41,722 Gramme Queckſilber eingedrungen waren, während die ganze Kugel 173,443 Gramme Queckſilber hält, ſo iſt klar, daß die noch in der Kugel zurückgebliebene Luft, welche ſie bei 100^0 ganz ausfüllt, jetzt bei 0^0 einen Raum einnimmt, welcher ſo groß iſt, daß ein gleiches Volumen Queckſilber 173,443 — 41,722, alſo 131,721 Gramme wiegt. Bei einer Temperaturerhöhung von 0^0 bis 100^0 dehnt ſich alſo die Luft im Verhältniß von 131,721 zu 173,443, oder im Verhältniß von 1 zu 1,34 . . . aus.

Dieſe Zahl iſt offenbar zu klein, und dies rührt daher, daß die nöthigen Correctionen wegen des veränderten Luftdrucks noch anzubringen ſind.

In dem Moment, in welchem man die Spitze der Röhre mit Wachs verklebte, war der Barometerſtand 77,58 Centimeter, das Queckſilberniveau in der Kugel ſtand aber $3{,}81^{cm}$ über dem Queckſilber im Gefäße, der Druck alſo, welchen die im obern Theile der Kugel abgeſperrte Luft wirklich auszuhalten hat, iſt gleich $77{,}58 - 3{,}81 = 73{,}77^{cm}$. Im Augenblick, wo man die Spitze zuſchmolz, war der Barometerſtand $76{,}36^{cm}$. Wenn nun die Luft nach ihrem Erkalten auf 0^0 demſelben Drucke ausgeſetzt wäre, ſo würde ſie einen kleinern Raum einnehmen, als der iſt, den ſie wirklich einnimmt, und zwar müßte ſie ſich noch im Verhältniß von 76,36 zu 73,77 zuſammenziehen. Ein gleiches Volumen Queckſilber würde alſo nicht 131,721, ſondern $131{,}721 \frac{7377}{7636} = 127{,}25$ Gramm wiegen. Bei einer Temperaturerhöhung von 0^0 bis 100^0 dehnt ſich alſo die Luft, wenn ſich der Druck nicht ändert, im Verhältniß von 127,25 zu 173,443, oder im Verhältniß von 1 zu 1,363 aus, der Ausdehnungscoëfficient der Luft wäre demnach 0,363.

Wir haben jedoch hier nur die ſcheinbare Ausdehnung der Luft beſtimmt, indem die Ausdehnung des Glaſes unberückſichtigt blieb. Um den

wahren Ausdehnungscoëfficienten zu finden, müssen wir zu dem eben gefundenen noch den Coëfficienten der kubischen Ausdehnung des Glases hinzuaddiren, welcher, wie wir gesehen haben, 0,0025 ist. Der wahre Ausdehnungscoëfficient der Luft ist demnach 0,3655.

Die bei dieser Berechnung zu Grunde gelegten Data sind den von Rudberg selbst angestellten Beobachtungen entnommen, und zwar sind es diejenigen, welche den größten Werth für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft geben. Der kleinste Werth, den er auf diese Weise gefunden hat, ist 0,3636 und das Mittel aus seinen Versuchen 0,3646.

Die Wichtigkeit des Gegenstandes veranlaßte Rudberg, später noch eine Reihe von Versuchen anzustellen, um den Ausdehnungscoëfficienten der Luft zu bestimmen, welche auf einem ganz andern Principe beruhen, nämlich darauf, daß, wenn man die Luft an der Ausdehnung hindert, während man sie erwärmt, der Druck in demselben Verhältnisse zunimmt, in welchem sich außerdem das Volumen vermehrt hätte.

Fig. 287.

Die Kugel a, Fig. 287, sey mit trockner Luft gefüllt und dieselbe durch das Quecksilber in der gebogenen Röhre abgesperrt. Wenn man die Kugel a in schmelzenden Schnee gebracht und dadurch die Luft in derselben auf 0^0 erkaltet hat, so kann man leicht so viel Quecksilber noch bei b in die Röhre eingießen, daß es in dem kürzern Schenkel bis zur Höhe c reicht. Auf dem Brette, auf welchem die Glasröhre befestigt ist, sey durch c eine horizontale Linie gezogen, und diese sey der Nullpunkt einer Theilung, welche sich hinter dem längeren Schenkel befindet. Wenn nun die Kugel auf 0^0 erkaltet ist und das Quecksilber bei c steht, so beobachtet man den Barometerstand b und die Anzahl der Millimeter h, um welche das Quecksilber in dem längern Schenkel über dem Nullpunkte der Scala steht. Der Druck, den die Luft in der Kugel auszuhalten hat, ist dadurch bestimmt, er ist $b + h$.

Nun entfernt man den Schnee und erwärmt die Kugel nach und nach; die Luft dehnt sich aus, das Quecksilber sinkt von c herab und steigt in den andern Schenkel; um die Luft wieder auf ihr voriges Volumen zu comprimiren, muß man von Neuem Quecksilber bei b eingießen. Gesetzt, man habe die Kugel bis 100^0 erwärmt und bei b nach und nach so viel Quecksilber eingegossen, daß es in dem kürzern Schenkel wieder bei c steht; man beobachtet wieder das Barometer, seine Höhe sey b' und die Höhe der Quecksilbersäule, welche im langen Schenkel über dem Nullpunkte der Scala steht, sey h', so ist nun der Druck, welchen die abgesperrte Luft auszuhalten hat, $b' + h'$.

Bei unverändertem Volumen übt alſo ein gewiſſes Luftquantum bei 0^0 einen Druck $b + h$ aus, bei 100^0 aber einen Druck $b' + h'$. Bei unverändertem Drucke würde ſich demnach die Luft im Verhältniß von $b + h$ zu $b' + h'$ ausgedehnt haben.

Es ſey z. B. $b = 758^{mm}$, $h = 7^{mm}$, $b' = 757^{mm}$, $h' = 284^{mm}$, ſo iſt der Druck, welchen die Luft bei 0^0 aushält, 765^{mm}, während ſie bei unverändertem Volumen bei 100^0 einen Druck von 1042^{mm} aushält; bei einer Temperaturerhöhung von 0^0 bis 100^0 dehnt ſich demnach die Luft im Verhältniß von 765 zu 1042, oder von 1 zu 1,362. Der Ausdehnungscoëfficient wäre demnach, wenn man noch die Ausdehnung des Glaſes berückſichtigt, $0{,}362 + 0{,}0025 = 0{,}3645$.

Der eben beſchriebene Apparat iſt in der That mehr für einen Vorleſungsverſuch geeignet, als genaue Reſultate zu geben. Zu dieſem Zwecke muß er etwas abgeändert werden. Eine detaillirte Beſchreibung ſeines Apparates würde uns aber zu weit führen. Nach dieſer Methode fand Rudberg als Mittel aus mehreren wenig von einander abweichenden Verſuchen 0,36457.

Magnus und Regnault haben gleichfalls den Ausdehnungscoëfficienten der Luft durch eine Reihe ſehr genauer Verſuche beſtimmt. Beide haben ganz unabhängig gearbeitet, keiner wußte, daß der andere gleichzeitig mit derſelben Unterſuchung beſchäftigt ſey. Nach der erſten der beiden Rudberg'ſchen Methoden erhielt Magnus keine conſtanten Reſultate, nach der zweiten aber war der größte Werth, den er für den Coëfficienten fand, 0,367899, der kleinſte 0,365032, das Mittel aus allen 0,366508. — Regnault wandte vier verſchiedene Methoden an, die beiden Rudberg'ſchen und zwei andere auf gleichen Principien beruhende. Nach jeder Methode machte er eine große Menge von Verſuchen, die ein faſt gleiches Reſultat gaben. Nach der einen Methode fand er als Mittel 0,36629, nach der zweiten 0,36633, nach der dritten 0,36678, nach der vierten 0,36665. Das Mittel aus dieſen vier Werthen iſt 0,3665. Die Endreſultate von Magnus und Regnault ſtimmen vollkommen überein, und ſomit kann wohl kaum mehr ein Zweifel bleiben, daß 0,3665 der wahre Werth für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft iſt.

Nimmt man den Werth 0,36666..., welcher von dem eben angegebenen Mittel nur um 0,000166 differirt, für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft, ſo kann man ihn durch den ſehr einfachen Bruch $^{11}/_{30}$ ausdrücken, welcher in vielen Rechnungen ſehr bequem anzuwenden iſt.

Regnault hat die Verſuche über die Ausdehnung der Luft durch die Wärme auch bei einem Luftdrucke angeſtellt, welcher größer und kleiner war als der Druck der Atmoſphäre, und fand, daß der Ausdehnungs-

coëfficient mit wachsendem Drucke größer wird; er wächst von 0,3648 bis 0,3709, wenn der Druck von 110^{mm} bis 3655^{mm} steigt.

Ebenso fanden Magnus und Regnault durch die genauesten Versuche, daß auch für verschiedene Gase der Ausdehnungscoëfficient nicht ganz gleich ist; es fanden

	Regnault.	Magnus.
Wasserstoffgas . .	0,36613 . .	0,36566
Kohlenoxydgas . .	0,36688	
Kohlensäure . . .	0,37099 . .	0,36909
Stickstoffoxydulgas .	0,37195	
Cyangas	0,38767	
Schweflige Säure .	0,39028 . .	0,38562.

Die Versuche beider Physiker thun dar, daß der Ausdehnungscoëfficient derjenigen Gase, welche zu Flüssigkeiten comprimirbar sind, größer ist als der der Luft, und zwar um so größer, je leichter sie flüssig werden.

Somit weisen diese Versuche nach, daß die früher als allgemein wahr angenommenen Sätze, daß der Ausdehnungscoëfficient für alle Gase und unter jedem Drucke gleich sey, nicht ganz streng wahr ist. Deshalb aber müssen diese Gesetze, wie Regnault sehr richtig bemerkt, nicht aus der Wissenschaft verbannt werden; sie gelten für einen vollkommenen Gaszustand, dem sich die Gase, welche uns die Natur liefert, bald mehr, bald weniger nähern, je nachdem sie bei der Temperatur und dem Drucke, welchem sie ausgesetzt sind, dem Punkte des Uebergangs in einen anderen Aggregatzustand näher oder ferner liegen.

Ist einmal der Ausdehnungscoëfficient der Luft bekannt, so kann man die Ausdehnung der Luft selbst benutzen, um Temperaturen zu bestimmen. Ein Luftthermometer läßt sich nicht füglich wie ein gewöhnliches Quecksilberthermometer einrichten, so daß man die Temperatur unmittelbar ablesen kann. Es ist dies schon deshalb nicht möglich, weil der Stand eines graduirten Luftthermometers (eines solchen etwa, wie es Gay-Lussac zur Bestimmung des Ausdehnungscoëfficienten anwandte) sich schon ändert, sobald nur der Barometerstand variirt, wenn auch die Temperatur dieselbe geblieben ist. Die Bestimmung einer Temperatur mit Hülfe eines Luftthermometers erfordert jederzeit einen besondern Versuch. In der Regel wendet man ein Verfahren an, welches im Wesentlichen mit der ersten der beiden Methoden übereinstimmt, die Rudberg zur Ermittelung des Ausdehnungscoëfficienten anwandte, d. h. man wendet ein mit einer feinen Spitze versehenes und mit trockner Luft gefülltes Reservoir an, welches man an den Ort bringt, dessen Temperatur gemessen werden soll.

Man beſtimmt die Queckſilbermenge, welche beim Erkalten durch die feine Spitze in das Gefäß eindringt, alsdann diejenige, welche das ganze Volumen des Gefäßes ausfüllt. Aus dem Verhältniſſe dieſer beiden Queckſilbermengen ergiebt ſich der Temperaturunterſchied. Hier iſt die Temperaturdifferenz geſucht und der Ausdehnungscoëfficient bekannt, während Rudberg bei ſeinen Verſuchen umgekehrt dieſen Coëfficienten ſuchte, aber die Temperaturdifferenz kannte.

Wenn man dieſelbe Temperatur gleichzeitig mit dem Queckſilberthermometer und dem Luftthermometer mißt, ſo erhält man zwiſchen 0^0 und 100^0 vollkommen gleiche Angaben; über 100^0 hinaus aber giebt das Queckſilberthermometer ſtets höhere Temperaturen an. Es folgt daraus, daß ſich das Queckſilber von 0^0 bis 100^0 gleichförmig, von 100^0 an aber in einem ſtärkern Verhältniſſe ausdehnt.

Nach den Verſuchen von Dulong und Petit ſind folgende mit dem Luft- und dem Queckſilberthermometer gemeſſenen Temperaturen identiſch:

Luftthermometer 100, 149, 197, 245, 293, 350
Queckſilberthermometer . 100, 150, 200, 250, 300, 360.

Nach Rudberg ſind folgende die entſprechenden Temperaturen beider Thermometer:

Luftthermometer 100, 198,8 294,7
Queckſilberthermometer . . 100, 200, 300.

Nach Magnus:

Luftthermometer 100, 197,5 294,5
Queckſilberthermometer . . 100, 200, 300.

Nach den oben (Seite 285) angeführten Verſuchen von Regnault gelten die für ein Queckſilberthermometer erhaltenen Reſultate nicht für jedes andere, weil ſie aufhören bei höheren Temperaturen vergleichbar zu ſeyn, wenn ſie aus verſchiedenen Glasſorten gemacht ſind. Bei genauen Verſuchen ſollte man deshalb die Beſtimmung höherer Temperaturen ſtets mit dem Luftthermometer machen, da bei deſſen Angaben, wegen der Größe der Ausdehnung der Luft, die Fehler verſchwinden, welche durch die Unregelmäßigkeiten und die Ausdehnung der Glashülle veranlaßt werden.

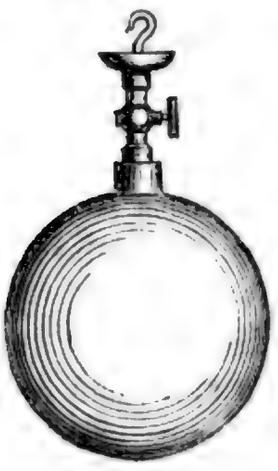
119 Bei dem, was oben über das ſpecifiſche Gewicht der Körper geſagt wurde, war der Einfluß der Wärme ganz außer Acht gelaſſen worden. Bei feſten und flüſſigen Körpern iſt auch in der That die Ausdehnung innerhalb der Temperaturgränzen, zwiſchen welchen man die zur Beſtimmung der Dichtigkeit nöthigen Operationen vornimmt, ſo gering, daß man, wo nicht größere Genauigkeit nöthig iſt, den Wärmeeinfluß ganz vernachläſſigen kann.

Auf die Dichtigkeit der Gaſe aber hat die Wärme einen ſo bedeutenden Einfluß, daß man ohne ihre Berückſichtigung nicht einmal angenähert

richtige Resultate erhält. Aus diesem Grunde kann erst hier von der Bestimmung der Dichtigkeit der Gase die Rede seyn.

Dichtigkeit der Luft. Um die Dichtigkeit der Luft zu bestimmen, 120
wendet man einen Ballon von 8 bis 10 Liter Inhalt an, welcher mit einer Fassung versehen ist, die man auf eine Luftpumpe schrauben und in welcher sich ein Hahn befindet, den man schließen kann, wenn man evacuirt hat (Fig. 288). Die Capacität eines solchen Ballons findet man am besten dadurch, daß man genau das Gewicht des Wassers ausmittelt, welches er faßt. Gesetzt, ein solcher Ballon, dessen Inhalt gerade 10 Liter beträgt, wiege, mit trockner Luft gefüllt, 12,99 Gramm mehr, als wenn er luftleer gemacht ist, so würde daraus folgen, daß das specifische Gewicht der Luft 0,001299 ist, denn 10 Liter Wasser wiegen ja 10 Kilogr., oder, was dasselbe ist, 10000 Gramm.

Fig. 288.



Ein solches Resultat würde der Versuch jedoch nur dann geben, wenn er bei einer Temperatur von 0^0 und bei einem Barometerstande von 760^{mm} angestellt worden wäre, und wenn man den Ballon wirklich absolut luftleer gemacht hätte. Wenn aber diese Bedingungen nicht erfüllt sind, so läßt sich dies Resultat aus den Beobachtungen ableiten.

Nehmen wir an, ein Ballon von 10 Liter Inhalt wiege bei einer Temperatur von 18^0 C. und bei einem Barometerstande von 754^{mm} 12,01 Gr. mehr, als wenn er so weit leer gepumpt ist, daß die Barometerprobe nur noch 5^{mm} zeigt. Da 5 gleich ist $\frac{66}{1000}$ von 754, so folgt, daß die Dichtigkeit der Luft, welche jetzt noch im Ballon zurückgeblieben ist, 0,0066 von der Luftmenge ist, welche den Ballon vor dem Auspumpen anfüllte; von dieser Luftmenge wurden also 0,9934 ausgepumpt, und diese ausgepumpte Luft wiegt 12,01 Gramme. Die ausgepumpte Luftmenge aber verhält sich zu der Menge der gesammten Luft im Ballon offenbar wie 0,9934 zu 1, und daraus ergiebt sich dann, daß das Gewicht der Luft, welche bei 18^0 C. und einem Barometerstande von 754^{mm} den Ballon füllt, 12,09 Gramm wiegt; es waren also nach dem Auspumpen noch 0,08 Gramm Luft im Ballon zurückgeblieben.

Wenn bei übrigens unveränderten Umständen der Barometerstand nicht 754, sondern 760 Millimeter betragen hätte, so würde das Gewicht der im Ballon enthaltenen Luft im Verhältniß von 754 zu 760 mehr betragen haben, bei 18^0 C. und einem Barometerstande von 760^{mm} wiegt demnach die in unserm Ballon enthaltene Luft $12{,}09 \frac{760}{754} = 12{,}19$ Gramm.

Nun bleibt nur noch übrig, auf 0^0 zu reduciren, d. h. zu berechnen, wie viel die Luft im Ballon wiegen würde, wenn die Temperatur von 18^0 auf 0^0 fiele. Bei einer Temperaturerhöhung von 0^0 bis 18^0 dehnt ſich die Luft im Verhältniß von 1 zu $1 + 0{,}00366 \cdot 18$, d. h. im Verhältniß von 1 zu 1,0659 aus; bei einer Temperaturerniedrigung von 18^0 bis 0^0 wird alſo die Luft im Verhältniß von 1 : 1,0659 dichter; wir finden alſo das Gewicht der Luft, welche den Ballon bei 760^{mm} Barometerſtand und einer Temperatur von 0^0 füllt, wenn wir die Zahl 12,19 mit 1,0659 multipliciren; es ergiebt ſich bei Ausführung der Rechnung 12,99 für die geſuchte Zahl. Ein Kubikcentimeter Luft wiegt demnach bei 0^0 und 760^{mm} Barometerſtand 0,001299 Gramm; unter dieſen Umſtänden iſt alſo die Dichtigkeit der Luft 770mal geringer als die des Waſſers.

Iſt einmal die Dichtigkeit der Luft für 0^0 bekannt, ſo kann man ſie für jede andere Temperatur berechnen, oder, mit anderen Worten, wenn man weiß, wie viel ein Kubikcentimeter Luft bei 0^0 wiegt, ſo kann man berechnen, wie viel es bei jeder anderen Temperatur wiegen muß. Wenn der Barometerſtand ſich nicht ändert, ſo dehnt ſich die Luft für eine Temperaturerhöhung von 0^0 bis t^0 im Verhältniß von 1 zu $1 + 0{,}00366\,t$ aus, ihre Dichtigkeit nimmt alſo bei dieſer Temperaturerhöhung im Verhältniß von $1 + 0{,}00366\,t$ zu 1 ab. Wenn alſo bei 0^0 ein Kubikcentimeter Luft 0,001299 Gr. wiegt, ſo wird daſſelbe Volumen Luft bei t Grad $\frac{0{,}001299}{1 + 0{,}00366\,t}$ Gramm wiegen. Auf dieſe Weiſe iſt die folgende Tabelle berechnet, welche das Gewicht n von 1 Kubikcentimeter trockner Luft für einen Barometerſtand von 760^{mm} und die von 10 zu 10^0 fortſchreitenden Temperaturen von 0^0 bis 290^0 in Milligrammen ausgedrückt enthält.

t	n	t	n	t	n
0	$1{,}299^{mg}$	100	$0{,}953^{mg}$	200	$0{,}751^{mg}$
10	1,253	110	0,927	210	0,735
20	1,211	120	0,903	220	0,720
30	1,171	130	0,881	230	0,706
40	1,134	140	0,860	240	0,692
50	1,099	150	0,839	250	0,680
60	1,066	160	0,820	260	0,667
70	1,035	170	0,802	270	0,654
80	1,006	180	0,784	280	0,642
90	0,978	190	0,767	290	0,631

Dichtigkeit der Gase. Wenn man die Dichtigkeit irgend eines Ga- 121
ses bei der Temperatur von 0^0 und einem Drucke von 760^{mm} mit d bezeichnet, mit d' aber die Dichtigkeit desselben Gases bei einer Temperatur von t^0 und einem Drucke h, so ist es leicht, die Beziehung zu finden, welche zwischen den beiden Tensionen, den beiden Temperaturen und den beiden Dichtigkeiten stattfindet. Wenn bei unverändertem Drucke die Temperatur von 0^0 auf t^0 steigt, wird 1 Kubikcentimeter Gas sich bis zu $1 + 0{,}00365\,t$ ausdehnen; wenn aber außerdem noch der Druck von 760^{mm} in h übergeht, so wird das Volumen jener Gasmenge

$$\frac{(1 + 0{,}00366\,t)\,760}{h}.$$

Die Dichtigkeit des Gases in beiden Fällen verhält sich aber umgekehrt wie die Volumina, also

$$\frac{d'}{d} = \frac{h}{760\,(1 + 0{,}00366\,t)}.$$

Es folgt daraus, daß die Dichtigkeiten zweier verschiedener Gase stets in demselben Verhältnisse zu einander stehen, so lange beide gleiche Temperaturen haben und gleichem Drucke ausgesetzt sind. Bei der Temperatur der Rothglühhitze also, wie bei 0^0, bei einem Drucke von 10 Atmosphären wie bei dem einer einzigen, wird die Dichtigkeit des Wasserstoffgases immer 0,0688, also ungefähr $^1/_{15}$ von der Dichtigkeit der in gleichen Verhältnissen sich befindenden Luft seyn. Es bleibt dies so lange wahr, als die Gase dem Mariotte'schen Gesetze folgen.

Dies giebt nun auch ein Mittel an die Hand, um die Dichtigkeit von Gasen zu bestimmen; man vergleicht nur ihr Gewicht mit dem Gewichte eines gleichen Volumens Luft von derselben Tension und derselben Temperatur.

Es sey z. B. das Gewicht eines Ballons mit trockner Luft = 192 Gramm
Gewicht des ausgepumpten Ballons . . . . . = 181 »
Gewicht der ausgepumpten Luft . . . . . = 11 Gramm.

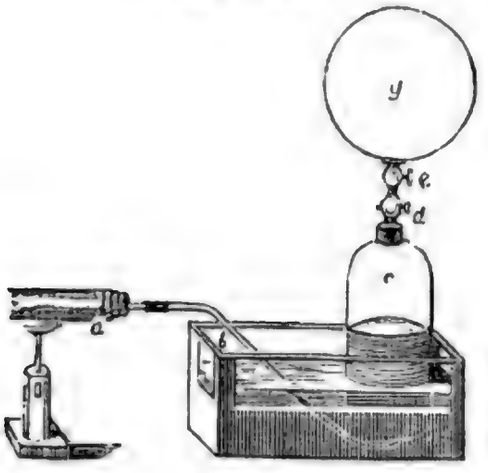
Es sey ferner das Gewicht des mit kohlensaurem Gase gefüllten Ballons . . . . . = 197,77 Gr.
Davon abgezogen das Gewicht des leeren Ballons . = 181 »
Bleibt für das Gewicht des kohlensauren Gases, welches der Ballon faßt . . . . . = 16,77 Gr.

Die Dichtigkeit des kohlensauren Gases ist demnach $\frac{16{,}77}{11}$, oder 1,524, wenn die der Luft = 1 ist. Dies Resultat bedarf durchaus keiner Correction wegen der Wärme und des Drucks, vorausgesetzt, daß die Luft

und das kohlenſaure Gas den Ballon bei gleichem Barometerſtande füllten und vollkommen gleiche Temperatur hatten.

Um einen Ballon mit verſchiedenen Gasarten zu füllen, wendet man eine Glocke *c* an, welche oben mit einem Hahne *d*, Fig. 289, verſehen iſt. Die Glocke wird auf Queckſilber geſetzt, der Hahn *d* geöffnet und darüber eine Handluftpumpe aufgeſchraubt, mittelſt welcher man die Glocke luftleer machen kann. Je mehr man evacuirt, deſto mehr ſteigt das Queckſilber in der Glocke; wenn ſie ganz mit Queckſilber gefüllt iſt, wird der Hahn *d* geſchloſſen, die Luftpumpe ab- und ſtatt deren ein evacuirter Ballon *g* aufgeſchraubt.

Fig. 289.



Man läßt nun das entwickelte Gas durch ein Chlorcalciumrohr *a* und die gebogene Glasröhre *b* in die Glocke *c* treten. Wenn die Glocke *c* mit Gas gefüllt iſt, öffnet man die Hähne *d* und *e*, das Gas verbreitet ſich in den Ballon, zugleich aber ſteigt das Queckſilber in *c* wieder in die Höhe. Sobald es in den obern Theil von *c* geſtiegen iſt, ſchließt man wieder einen der Hähne, bis ſich die Glocke *c* von Neuem mit Gas gefüllt hat. Später kann man beide Hähne fortwährend offen laſſen. Man fährt mit der Gasentwicklung ſo lange fort, bis die Kugel und die Glocke ganz mit Gas gefüllt ſind und der Queckſilberſpiegel in und außer der Glocke gleich hoch ſteht. Sobald dies der Fall iſt, ſchließt man den Hahn *e* und ſchraubt den Ballen ab, um ihn zu wiegen.

In der folgenden Tabelle findet man die Dichtigkeit der wichtigſten Gasarten nach den beſten Beobachtungen:

Namen der Gase.	Beobachtete Dichtigkeit.	Gewicht von 1 Liter bei 0° u. 760mm Druck in Grammen.	Namen der Beobachter.
Jodwasserstoffgas . .	4,4288	5,7719	Gay-Lussac.
Chlor	2,4216	3,2088	Gay-Lussac u. Thénard.
Schweflige Säure . .	2,1930	2,8489	H. Davy.
Cyangas	1,8197	2,3467	Gay-Lussac.
Stickoxydulgas . . .	1,5269	1,9752	Colin.
Kohlensäure	1,5245	1,9805	Berzelius u. Dulong.
Chlorwasserstoff . . .	1,2474	1,6205	Biot u. Arago.
Schwefelwasserstoff . .	1,1912	1,5475	Gay-Lussac u. Thénard.
Sauerstoff	1,1026	1,4323	Berzelius u. Dulong.
Stickoxydgas	1,0388	1,3495	Bérard.
Stickgas	0,9757	1,2675	Berzelius u. Dulong.
Kohlenoxydgas . . .	0,9769	1,2431	Cruikshank.
Ammoniakgas . . .	0,5967	0,7752	Biot u. Arago.
Wasserstoffgas . . .	0,0688	0,0894	Berzelius u. Dulong.

Bei den in der zweiten Columne angegebenen Zahlen ist die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft zur Einheit genommen.

Zweites Kapitel.

Veränderung des Aggregatzustandes.

Schmelzen. Man sieht leicht, daß das Schmelzen, d. h. der Ueber- 122
gang eines Körpers aus dem festen Zustande in den flüssigen, ein durch die Wärme hervorgebrachtes Phänomen ist, und daß keine andere Kraft in der Natur im Stande ist, diese Wirkung hervorzubringen. Man kann Eis zerbrechen und zu Pulver stoßen, man mag darauf alle mechanischen und sonstigen Kräfte wirken lassen, es wird nicht in Wasser verwandelt, wenn nicht die Wärme auf dasselbe einwirkt. Ebenso verhält es sich mit dem Wachs, dem Blei u. s. w. Ob also ein Körper fest oder flüssig ist, hängt einzig und allein von seiner Temperatur ab. In einer andern Entfernung von der Sonne würde die Erde einen ganz andern Anblick darbieten; in größerer Nähe würden die meisten Metalle beständig flüssig, in größerer Entfernung hingegen würde das Meer eine feste Masse seyn, es gäbe kein fließendes Wasser und wahrscheinlich keine Flüssigkeit mehr, deren Circulation die Phänomene des Thier- und Pflanzenlebens hervorbringt.

Da die Wärme alle Körper durchdringt und ausdehnt, so liegt die Frage nahe, ob sie auch alle festen Körper schmelzen kann. In dieser Beziehung aber findet man große Unterschiede unter den Körpern; einige sind leicht schmelzbar und gehen schon bei niedrigen Temperaturen in den flüssigen Zustand über, z. B. Eis, Phosphor, Schwefel, Wachs, Fett u. s. w.; andere bedürfen zum Schmelzen schon höherer Temperaturen, wie Zinn, Blei u. s. w.; endlich giebt es Körper, welche erst bei sehr hohen Temperaturen schmelzen, wie Gold, Eisen, Platin. Die Kohle zu schmelzen, ist bis jetzt noch nicht gelungen, wenngleich mehrere Physiker behaupten, an den Kanten von Diamanten, die sie dem Versuche unterworfen hatten, Spuren von Schmelzung bemerkt zu haben. Der Analogie nach muß man schließen, daß es keine absolut unschmelzbare Körper giebt, daß alle schmelzen würden, wenn man nur hinreichend hohe Temperaturen hervorbringen könnte.

Organische Körper erleiden unter Einwirkung der Wärme meist eine chemische Zersetzung, ehe sie zum Schmelzen kommen.

Mehrere unorganische Körper zersetzen sich ebenfalls, bevor sie schmelzen. Hall hat jedoch gezeigt, daß mehrere dieser Körper gleichwohl geschmolzen werden können, wenn man sie während des Erhitzens unter einem so starken Drucke erhält, daß die flüchtigen Bestandtheile nicht entweichen können. Auf diese Weise hat Hall Marmor und mehrere vulkanische Substanzen geschmolzen. Diese Resultate sind in geologischer Beziehung von der höchsten Wichtigkeit.

123 **Bedingungen des Schmelzens.** Wenn ein Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeht, beobachtet man zwei merkwürdige Phänomene. Erstens bleibt er fest bis zu einer bestimmten festen Temperatur, welche für denselben Körper unveränderlich ist, und bei welcher allein die Schmelzung beginnen kann; und zweitens ändert sich während des Schmelzens die Temperatur nicht, wie viel Wärme auch in den Körper eindringen mag. Es wird also beim Schmelzen Wärme absorbirt, welche sich gleichsam im Körper versteckt, ohne auf das Gefühl oder das Thermometer weiter zu wirken. Die Unveränderlichkeit des Schmelzpunktes und die Absorption der latenten Wärme sind zwei wesentliche Bedingungen des Schmelzens. Im Jahre 1763 hat Black die Absorption der latenten Wärme beim Schmelzen, eine der wichtigsten Fundamentalwahrheiten der Wärmelehre, nachgewiesen. Von diesem Binden der Wärme beim Schmelzen überzeugt man sich am besten, wenn man 1 Pfund Schnee von 0^0 und 1 Pfd. Wasser von 79^0 mit einander mischt. Der Schnee schmilzt, und man erhält 2 Pfd. Wasser von 0^0. Alle Wärme also, welche in dem heißen Wasser enthalten war, ist für das Thermometer spurlos verschwunden, sie ist lediglich

dazu verwendet worden, um Schnee von 0^0 in Wasser von 0^0 zu verwandeln.

Wenn Schnee oder gestoßenes Eis etwa von -10^0 und Kochsalz von -10^0 gemengt werden, so verbinden sie sich zu einer flüssigen Salzlösung; dabei sinkt die Temperatur mehr und mehr, weil ja durch das Flüssigwerden zweier vorher fester Körper viel Wärme gebunden wird. Auf diesem Princip beruhen die sogenannten Kältemischungen, die wir alsbald näher betrachten werden.

Gerade so, wie in dem eben angeführten Beispiele die Mischung des Salzes mit dem Schnee leichter flüssig ist als jeder der Bestandtheile, so schmilzt auch kohlensaures Kali und kohlensaures Natron zusammen leichter als jeder dieser Körper für sich; eine Legirung von 8 Wismuth, 5 Blei und 3 Zinn (Rose's Metallgemisch) hat einen tiefern Schmelzpunkt als jedes dieser Metalle einzeln genommen. In der Chemie findet man eine Menge Fälle dieser Art.

Die folgende Tabelle enthält die Schmelzpunkte verschiedener Substanzen.

Gehämmertes englisches Eisen	1600	Grad
Weiches französisches Eisen	1500	»
Der strengflüssigste Stahl	1400	»
Der leichtflüssigste Stahl	1300	»
Graues Gußeisen, zweite Schmelzung . .	1200	»
Leichtflüssiges weißes Gußeisen	1050	»
Gold	1250	»
Silber	1000	»
Bronze	900	»
Antimon	432	»
Zink	360	»
Blei	334	»
Wismuth	256	»
Zinn	230	»
Legirung aus 5 Theilen Zinn, 1 Blei .	194	»
Schwefel	109	»
Legirung aus 8 Wismuth, 5 Blei, 3 Zinn	100	»
» » 4 Wismuth, 1 Blei, 1 Zinn	94	»
Natrium	90	»
Kalium	58	»
Phosphor	43	»
Stearinsäure	70	»
Weißes Wachs	68	»
Gelbes Wachs	61	»

Stearin	49 bis 43°	
Wallrath	49	Grad
Essigsäure	45	»
Seife	33	»
Eis	0	»
Terpentinöl	— 10	»
Quecksilber	— 39	»

124 **Das Festwerden.** Beim Uebergange der Körper aus dem flüssigen Zustande in den festen beobachtet man ganz analoge Erscheinungen wie beim Schmelzen; es findet nämlich erstens bei einer bestimmten Temperatur statt, welche mit dem Schmelzpunkte zusammenfällt, und zweitens wird alle latente Wärme, welche beim Schmelzen gebunden worden war, beim Festwerden wieder frei.

Eine Erscheinung, welche das Freiwerden der gebundenen Wärme beim Festwerden flüssiger Körper beweist, ist folgende: Im Jahre 1714 hatte Fahrenheit die Beobachtung gemacht, daß unter gewissen Umständen das reine Wasser bis auf — 10 bis — 12° erkaltet werden könne, ohne zu gefrieren. Manchmal findet dies schon an freier Luft Statt, sicherer aber kann man diese Erscheinung hervorrufen, wenn man dafür sorgt, daß das zu erkaltende Wasser nur einem schwachen Luft- oder Dampfdrucke ausgesetzt ist. Man kann dies dadurch bewirken, daß man in einer Glasröhre, welche oben in eine feine Spitze ausgezogen ist, Wasser ins Kochen bringt, und wenn man denkt, daß durch die Dämpfe alle Luft ausgetrieben worden sey, die feine Spitze zuschmilzt. Es befindet sich alsdann über dem Wasser in dem Glase nur noch Wasserdampf, welcher bei niedrigen Temperaturen nur einen sehr geringen Druck ausübt. Wenn man ein solches Glasrohr einer Temperatur von — 12° aussetzt, so bleibt das Wasser noch flüssig, eine Erschütterung aber macht, daß die ganze Wassermasse plötzlich gefriert. Wenn man nun dafür gesorgt hat, daß sich im Innern der Glasröhre ein Thermometer befindet, dessen Kugel in das Wasser eingetaucht ist, und an welchem man die niedrige Temperatur von — 12° ablesen kann, so beobachtet man, wie dieses Thermometer in dem Augenblick, wo das Wasser fest wird, bis auf 0° steigt.

Die Schnelligkeit, mit welcher das Festwerden unter diesen Umständen vor sich geht, und das Steigen des Thermometers sind zwei Phänomene, welche sich leicht erklären lassen. Die latente Wärme der ersten Theilchen, welche gefrieren, geht auf die benachbarten, noch flüssigen Theilchen über. Sie werden zwar erwärmt, aber nicht hinreichend, um ihr Erstarren zu verhindern; daher die doppelte Wirkung des Festwerdens und der Erwärmung.

Wenn das Feſtwerden bei der gewöhnlichen Erſtarrungstemperatur vor ſich geht, ſo geſchieht es immer nur langſam und ohne Temperaturerhöhung. Wenn z. B. das Waſſer bei 0^0 gefriert, ſo beginnt das Erſtarren in der Regel gleichzeitig an verſchiedenen Punkten, und an dieſen Stellen geben die zuerſt erſtarrenden Theilchen ihre latente Wärme an die benachbarten ab, welche dadurch noch einige Augenblicke flüſſig erhalten werden. Deshalb beobachtet man dünne Eisblättchen und feine Eisnadeln, welche auf mannigfaltige Weiſe in der flüſſigen Maſſe gleichſam fortwachſen. Auf dieſe Weiſe zerſtreut ſich die latente Wärme nach und nach; ohne die latente Wärme müßte die ganze flüſſige Maſſe, bis zur Erſtarrungstemperatur erkaltet, auf einmal feſt werden.

Ein und dieſelbe flüſſige Subſtanz kann beim Feſtwerden ein ganz verſchiedenes Anſehn, ganz verſchiedene Eigenſchaften annehmen. Wenn das Phänomen langſam und ohne Störung vor ſich geht, ſo kryſtalliſirt der Körper in der Regel und nimmt ſeine größte Dichtigkeit an. Wenn dagegen das Erkalten raſch erfolgt, und wenn die Maſſe auf irgend eine Weiſe bewegt wird, ſo haben die Theilchen nicht Zeit ſich regelmäßig zu gruppiren.

Reines Wismuth kryſtalliſirt unter allen Metallen am leichteſten. Man ſchmilzt es in einem Tiegel, gießt es vorher in eine etwas erwärmte Schale und wartet dann, bis ſich auf der Oberfläche eine hinlänglich feſte Kruſte gebildet hat, die nun durchſtochen wird, um das noch flüſſige Metall abzugießen. Auf dieſe Weiſe erhält man mehrere Linien große glänzende und iriſirende würfelförmige Kryſtalle, welche das Innere der Höhlung erfüllen, welche durch die zuerſt erkaltende äußere feſte Kruſte eingeſchloſſen wird.

Durch ein ähnliches Verfahren erhielt Mitſcherlich $\frac{1}{2}$ Zoll dicke Schwefelkryſtalle von der größten Regelmäßigkeit, indem er 50 Pfund Schwefel zuſammenſchmolz. Das Bad wurde allmälig 4—5 Stunden lang erkaltet, dann die Kruſte, welche ſich oben gebildet hatte, durchſtoßen, um den noch flüſſigen Schwefel abzugießen.

Rudberg hat intereſſante Beobachtungen über das Feſtwerden geſchmolzener Legirungen von Blei und Zinn, Zinn und Wismuth, Zinn und Zink, Zink und Wismuth gemacht. Werden z. B. Zinn und Blei in irgend einem Verhältniß zuſammenſchmolzen, ein Thermometer hineingeſenkt und die Erkaltungszeit mit dem Sinken des Thermometers verglichen, ſo findet man, daß das Thermometer auf einem gewiſſen Punkte ſtationär bleibt, ohne daß noch das Metall ſichtbar zu erſtarren anfängt, daß es darauf weiter ſinkt und zum zweitenmale ſtationär bleibt, wenn die ganze Maſſe erſtarrt. Rudberg fand, daß dieſer letztere Punkt auf denſelben Thermometergrad fällt, in welchem Verhältniß die Metalle auch gemiſcht ſind, daß aber der andere variirt und bei dem Zuſatz des ſchon vor-

herrschenden Metalls höher wird, und umgekehrt. Daher nennt er den ersteren Punkt den beständigen, den letzteren den veränderlichen.

Den Erstarrungspunkt des Zinns fand Rudberg bei 228°, den des Bleis bei 325°. Der beständige Punkt, wobei eine Legirung beider erstarrt, ist 187°; allein für eine Legirung von 3 Aequivalenten Blei und 1 Aequivalent Zinn ist der erste am Thermometer stationäre, also der veränderliche Punkt 280°. Je mehr Zinn man nun der Legirung zusetzt, desto tiefer sinkt der veränderliche Punkt, er ist 200° für eine Mischung von 1 Aeq. Blei und 2 Aeq. Zinn. Bei einer Legirung von 1 Aeq. Blei und 3 Aeq. Zinn fehlt der veränderliche Punkt ganz, und es findet nur der feste Erstarrungspunkt von 187° statt. Wenn man nun noch mehr Zinn zusetzt, so steigt der veränderliche Punkt wieder.

Aehnliche Erscheinungen beobachtete Rudberg bei den übrigen der erwähnten Legirungen.

125 **Binden der Wärme beim Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand.** Wir haben soeben gesehen, daß eine bedeutende Menge Wärme nöthig ist, um Eis oder Schnee von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln. Diese Wärme ist in dem Wasser gebunden, sie ist für das Gefühl und für das Thermometer gleichsam verschwunden.

Wir haben gesehen, daß ein Kilogramm Wasser von 79°, mit einem Kilogramm Schnee von 0° gemischt, die Schmelzung des Schnees bewirkt, daß man 2 Kilogramm Wasser von 0° erhält; alle Wärme also, welche bei einer Temperaturerniedrigung von 79° aus einem Kilogramm Wasser austritt, wird verwendet, um den Schnee flüssig zu machen, ohne daß seine Temperatur erhöht wird.

Bezeichnen wir die Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur von einem Kilogramm Wasser um 1° zu erhöhen, mit 1, so ist die Wärmemenge, welche bei der Schmelzung von einem Kilogramm Schnee oder Eis gebunden wird, gleich 79.

Damit der Versuch ein richtiges Resultat liefere, muß er mit einiger Vorsicht angestellt werden; vor allen Dingen muß die Mischung rasch vor sich gehen, und man muß sie an einem Orte vornehmen, an welchem die Temperatur der Luft 0° oder doch nur wenig von 0° verschieden ist, damit man sicher seyn kann, daß nicht Wärme aus der Umgebung eindringt und einen Theil des Schnees schmilzt, oder daß nicht umgekehrt ein Theil der Wärme des Wassers an die kältere Umgebung abgegeben wird. Mit dicken Eisstücken gelingt der Versuch nicht, weil sie dem warmen Wasser nicht Berührungspunkte genug bieten und weil deshalb die Schmelzung des Eises zu langsam vor sich geht, also jedenfalls ein Theil der Wärme des Wassers an die Umgebung verloren wird.

Nach neueren mit größter Genauigkeit angestellten Versuchen, welche

de la Provoſtaye und Deſains über die Schmelzungswärme des Eiſes angeſtellt haben, iſt 79,25 für die bisher nach den calorimetriſchen Verſuchen von Lavoiſier und Laplace angenommene Zahl 75 zu ſetzen.

So wie bei der Schmelzung des Eiſes und des Schnees Wärme gebunden wird, ſo iſt dies auch beim Schmelzen anderer Körper der Fall. Folgendes ſind die Werthe der latenten Wärme für einige Körper nach Irvine's Beſtimmungen:

Schwefel	80
Blei	90
Wachs	97
Zink	274
Zinn	278
Wismuth	305

Die Bedeutung dieſer Zahlen iſt leicht einzuſehen; während ein Kilogramm Schnee zu ſeiner Schmelzung 79 Wärmeeinheiten, d. h. 79mal ſo viel Wärme nöthig hat, als erforderlich iſt, um die Temperatur von einem Kilogramm Waſſer um 1° zu erhöhen, ſind zur Schmelzung von einem Kilogramm Schwefel 80, zur Schmelzung von einem Kilogramm Blei, Wachs, Zink u. ſ. w. 90, 97, 274 ſolcher Wärmeeinheiten nöthig.

So wie beim Schmelzen eines feſten Körpers Wärme gebunden wird, ſo findet auch eine Wärmebindung Statt, wenn ein feſter Körper durch Auflöſung in den flüſſigen Zuſtand übergeführt wird; man kann ſich davon leicht überzeugen, wenn man ein fein gepulvertes, leicht lösliches Salz, etwa Salpeter, in Waſſer wirft und die Auflöſung durch Umrühren befördert; die Temperatur des Waſſers wird dabei um einige Grade ſinken. Darauf gründen ſich, wie dies ſchon auf Seite 307 angeführt wurde, die Kältemiſchungen; folgende ſind die gewöhnlichſten Kältemiſchungen; die Temperaturerniedrigung, welche man durch ſie hervorbringen kann, iſt bei jeder angegeben.

Gepulvertes Glauberſalz, mit Salzſäure übergoſſen			von + 10° bis — 17° C.
5	Gewichtstheile	Salmiak	von + 10° bis — 12°
5	»	Salpeter	
19	»	Waſſer	
1	»	Kochſalz	von 0° bis — 17,7°
3	»	Schnee	
3	»	Salzſaurer Kalk	von 0° bis — 28°
2	»	Schnee	
1	»	verdünnte Schwefelſäure	von — 7° bis — 51°.
1	»	Schnee	

Um mit ſolchen Miſchungen bedeutende Kältegrade hervorzubringen, muß man möglichſt große Quantitäten, wenigſtens 3 bis 4 Pfunde der zu miſchenden Subſtanzen anwenden, und muß die Salze fein pulvern, damit die Auflöſung raſch vor ſich gehen kann. Das Gefäß, in welchem man die Miſchung macht, muß von ſchlecht leitenden Subſtanzen umgeben ſeyn, damit nicht von außen her Wärme zugeführt wird.

Um ſehr hohe Kältegrade zu erreichen, muß man die zu miſchenden Subſtanzen ſelbſt vor der Miſchung ſtark erkalten.

Die Temperatur von — 17,7°, die man erhält, wenn man 1 Theil Kochſalz mit 3 Theilen Schnee miſcht, iſt der Nullpunkt des Fahrenheit'ſchen Thermometers.

Statt des oben angegebenen ſalzſauren Kalks darf man kein Chlorcalcium nehmen; der ſalzſaure Kalk iſt freilich nichts anderes als Chlorcalcium, welches mit Kryſtallwaſſer verbunden iſt; wollte man waſſerfreies Chlorcalcium zu einer Kältemiſchung anwenden, ſo würde es erſt ſo viel Waſſer aufnehmen als nöthig iſt, um den ſalzſauren Kalk zu bilden, dabei würde aber Wärme frei werden, wodurch dann nothwendig die erkaltende Wirkung der Miſchung ſehr vermindert wird.

Wenn ein flüſſiger Körper feſt wird, ſo muß alle Wärme frei werden, welche beim Uebergang in den flüſſigen Zuſtand gebunden worden war. Schon auf Seite 308 iſt angeführt worden, wie man die beim Gefrieren des Waſſers frei werdende Wärme fühlbar machen kann.

Auch wenn Waſſer ſich mit irgend einer andern Subſtanz zu einem feſten Körper verbindet, muß Wärme frei werden. Dadurch erklärt ſich die hohe Temperatur, welche entſteht, wenn man gebrannten Kalk mit Waſſer übergießt; das Waſſer verbindet ſich nämlich mit dem kauſtiſchen Kalk zu Kalkhydrat.

Wenn ein Körper aus einer Auflöſung herauskryſtalliſirt, ſo muß alle Wärme frei werden, die bei ſeiner Auflöſung gebunden wurde; meiſtens geht aber die Kryſtalliſation nur langſam vor ſich, ſo daß man hier ebenſo wenig eine Temperaturerhöhung nachweiſen kann, wie bei dem Gefrieren des Waſſers unter den gewöhnlichen Umſtänden; doch läßt ſich die bei dem Kryſtalliſiren frei werdende Wärme am Thermometer durch folgendes Verfahren ſichtbar machen. Man löſe 3 Theile Glauberſalz in 2 Theilen Waſſer bei hoher Temperatur auf, gieße dann etwas Oel auf die heiße Auflöſung und laſſe ſie ruhig erkalten. Bei dieſem ruhigen Erkalten kryſtalliſirt das Salz noch nicht aus der Löſung heraus, obgleich ſie gewiſſermaßen für die Temperatur, bis zu welcher ſie ſich abgekühlt hat, überſättigt iſt. Wenn man aber nun die unterdrückte Kryſtalliſation dadurch einleitet, daß man irgend einen feſten Körper in die Löſung bringt, ſo bil-

den sich plötzlich eine Menge von Glauberſalz-Kryſtallen, und die Temperatur der Löſung ſteigt dabei oft um 15 bis 20 Grad.

Dampfbildung. Wenn eine Flüſſigkeit mit der Luft in Berührung 126
iſt, ſo nimmt ihre Menge mehr und mehr ab, und nach kürzerer oder längerer Zeit verſchwindet ſie vollſtändig. Das Waſſer, welches nach einem Regen den Boden bedeckt, widerſteht nicht dem Wehen eines trockenen Windes und der Einwirkung des Sonnenſcheins, es verſchwindet, nicht allein weil es in den Boden einſickert, ſondern auch weil es in der Luft verdunſtet.

Das Phänomen der Verdunſtung geht raſcher vor ſich, wenn man eine Schale mit Waſſer über Feuer zum Kochen bringt; in kurzer Zeit iſt alles Waſſer verſchwunden, und doch iſt es nicht vom Gefäße verſchluckt worden. Es geht daraus hervor, daß die Flüſſigkeiten ihren Aggregatzuſtand ändern, daß ſie unſichtbar und expanſibel werden wie die Gaſe. Mit dem Namen Dampf bezeichnet man eine in gasförmigen Zuſtand übergegangene Flüſſigkeit.

Man war lange Zeit der irrigen Meinung, daß die Dämpfe für ſich ſelbſt nicht beſtehen könnten; man glaubte, ſie ſeyen ganz in derſelben Weiſe in der Luft aufgelöſ't wie die Salze im Waſſer; um eine Flüſſigkeit gasförmig zu machen, bedürfe es eben ſo eines Auflöſungsmittels, der Luft, wie ein Löſungsmittel, etwa Waſſer, nöthig ſey, um die feſten Salze flüſſig zu machen. Um die Unrichtigkeit dieſer Meinung darzuthun und zugleich die wahren Geſetze der Dampfbildung zu ſtudiren, muß man machen, daß die Dampfbildung im luftleeren Raume vor ſich geht. Dazu eignet ſich nun die toricelliſche Leere ganz vorzüglich, nicht allein weil man es mit einem vollkommen luftleeren Raum zu thun hat, ſondern auch weil die Depreſſion der beweglichen Queckſilberſäule ein Mittel bietet, die Expanſivkraft der Dämpfe zu meſſen.

Fig. 290.

Nehmen wir an, man habe in einem weiteren, mit Queckſilber gefüllten Gefäße *v v'* (Fig. 290) drei toricelliſche Röhren neben einander geſtellt, ſo wird in allen das Queckſilber gleich hoch ſtehen; wenn man aber mit Hülfe einer gekrümmten Pipette etwas Waſſer in die eine Röhre *b'* bringt, ſo ſteigt es alsbald bis zur toricelliſchen Leere in die Höhe, und augenblicklich ſinkt auch der Gipfel der Queckſilberſäule um einige Millimeter. Dem Gewicht der kleinen Waſſerſchicht, welche jetzt auf dem Queckſilber ſchwimmt, kann man dieſe Depreſſion nicht zuſchreiben; hat man,

Fig. 291.

wie es nöthig ist, wenn der Versuch entscheidend seyn soll, Wasser genommen, welches durch Kochen vollständig von Luft befreit worden ist, so kann man jene Depression auch nicht der aus dem Wasser sich entbindenden Luft zuschreiben. Aus dem Wasser müssen sich also Dämpfe entwickelt haben, welche, wie die Gase, eine Tension haben, denn diese Wasserdämpfe wirken gerade so, als ob man eine kleine Portion Luft in die leere Kammer hätte aufsteigen lassen.

Die Größe der Depression giebt zugleich ein Maaß für die Spannkraft der Wasserdämpfe. Nehmen wir an, die durch die Wasserdämpfe deprimirte Queckſilberkuppe t stehe um 15^{mm} tiefer als die Kuppe c des anderen Barometers, über welcher sich noch ein vollkommenes Vacuum befindet, so ist klar, daß die Wasserdämpfe auf die Kuppe t gerade so stark drücken als eine Queckſilbersäule von 15^{mm} Höhe. Die Depression von 15^{mm} ist also wirklich das Maaß für die Spannkraft des Wasserdampfs.

Hätte man in das dritte Barometerrohr b'' anstatt Wasser eine andere Flüssigkeit, etwa Schwefeläther, gebracht, so würde man eine weit bedeutendere Depression bemerkt haben als beim Wasser, denn bei einer mittleren Temperatur beträgt die Depression fast die Hälfte der Höhe des Barometers b; es folgt daraus, daß unter diesen Umständen der Aetherdampf eine Spannkraft hat, welche fast dem Druck einer halben Atmosphäre gleich ist.

127 **Maximum der Spannkraft der Dämpfe.** Das Bestreben der Dämpfe sich auszudehnen, geht, wie bei den Gasen, bis in's Unendliche, d. h. die kleinste Menge Dampf breitet sich in einem leeren Raume, so groß er auch seyn mag, nach allen Seiten aus und übt auf die Wände immer noch einen mehr oder minder großen Druck aus. Die kleinste Menge Wasser ist also fähig in Dampfgestalt einen Raum von mehreren tausend Kubikmetern in derselben Weise auszufüllen wie die Luft. Obgleich aber die Dämpfe eine bis in's Unendliche gehende Expansionskraft haben, so kann man doch ihre Spannkraft nicht durch vermehrten Druck beliebig vergrößern, wie dies bei Gasen der Fall ist. Man mag eine gegebene Luftmenge noch so stark comprimiren, immer wird nach dem Mariotte'schen Gesetze ihre Elasticität in demselben Verhältniß zunehmen, in welchem ihr Volumen verkleinert wird. Wenn man versucht, Dämpfe zu comprimiren, um dadurch ihre Elasticität zu vergrößern, so gelangt man bald zu einem Punkte,

Fig. 292.

wo sich der Dampf verdichtet und in den flüssigen Zustand zurückkehrt. Diese Grenze des Widerstandes, bei welcher jede fernere Compression keine Vermehrung der Elasticität des Dampfs hervorbringt, sondern ihn flüssig macht, nennt man das Maximum der Tension des Dampfes.

Um diesen charakteristischen Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen durch den Versuch nachzuweisen, bedient man sich am zweckmäßigsten des schon auf S. 132 Bd. I. beschriebenen Apparates; nur bringt man nicht Luft in die Barometerröhre, sondern etwas Aether. Man füllt zu diesem Zweck die toricellische Röhre sehr sorgfältig mit Quecksilber, so daß alle Luft möglichst entfernt ist, was man am vollständigsten durch Auskochen erreicht. Ist die Röhre so bis auf 1 — 2 Centimeter mit Quecksilber gefüllt, so gießt man diesen Raume noch voll Aether, kehrt die Röhre um und taucht sie in das Gefäß *cn*. Der Aether steigt alsbald in die Höhe, ein Theil bleibt flüssig, ein anderer verdampft im leeren Raum und bewirkt eine bedeutende Depression der Quecksilbersäule. Die Säule *ns* habe z. B. nur noch eine Höhe von 400^{mm}, während sie 760^{mm} hoch seyn würde, wenn oben ein Vacuum wäre, so ist die Spannkraft des Aetherdampfs gleich 360^{mm}. Wenn man nun die toricellische Röhre tiefer in die mit Quecksilber gefüllte Röhre *cc'* hinabdrückt, um dadurch den mit Aetherdampf gefüllten Raum zu verkleinern, so beobachtet man, daß die Höhe der Quecksilbersäule *ns* ganz unverändert bleibt. Wäre statt des Aetherdampfs Luft im oberen Theile der Röhre gewesen, so wissen wir, daß, wenn beim Niederdrücken das Volumen der abgesperrten Luft verkleinert wird, auch ihre Elasticität zunimmt, so daß die Höhe der Quecksilbersäule im Barometerrohr abnimmt (S. 132 Bd. I.). Hier beim Dampf ist die Sache ganz anders, das Volumen des Aetherdampfs wird vermindert, ohne daß seine Elasticität zunimmt, denn die Höhe der Säule *ns* bleibt ja dieselbe. Je mehr man aber niederdrückt, desto mehr nimmt die Menge des flüssigen Aethers zu, die Verkleinerung des mit Aetherdämpfen erfüllten Raums bewirkt also, daß sich ein Theil der Dämpfe wieder zu flüssigem Aether condensirt, während die übrigen Dämpfe ihre Spannkraft nicht ändern. Wenn man also den mit Aetherdampf gefüllten Raum auf $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ u. s. w. comprimirt, so wird auch $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ u. s. w. des Dampfes condensirt. Fährt man fort das Rohr niederzudrücken, so gelangt man bald zu einem Punkte, wo aller Dampf verdichtet ist, so daß

sich nur noch flüssiger Aether über der Quecksilbersäule befindet; dieses völlige Verschwinden der Dampfblase ist jedoch schwer zu erreichen, weil der Aether immer etwas absorbirte Luft enthält.

Hebt man die Röhre wieder, so behält die Quecksilbersäule immer noch dieselbe Höhe ns, während die flüssige Aetherschicht fortwährend abnimmt, was beweis't, daß sich sogleich wieder Dampf bildet, um den vergrößerten Raum auszufüllen und in demselben das Maximum der Spannkraft zu erreichen. Wenn man aber nur wenig Aether in die Röhre bringt und sie hinlänglich hebt, daß alle Flüssigkeit vollständig verschwindet, so wird nun bei fernerem Heben auch die Quecksilbersäule steigen; der Aetherdampf ist also nicht mehr im Maximum der Spannkraft, er verhält sich bei fernerer Vergrößerung seines Volumens gerade so wie ein Gas.

128 **Gleichgewicht der Spannkraft in einem ungleich erwärmten Raume.** Man überzeugt sich leicht, welch bedeutenden Einfluß die Temperatur auf das Maximum der Tension der Dämpfe ausübt, denn wenn man die eben erwähnten Versuche bei verschiedenen Temperaturen anstellt, so wird die Depression der Barometersäule sehr ungleich ausfallen. Bei 0^0 erhält man z. B. mit Aether nur eine Depression von 180^{mm}, während sie bei 30 Grad 630^{mm} beträgt. Phänomene, welche wir immer vor Augen haben, geben uns auch hinlängliche Beweise von dieser Wahrheit. Der Wasserdampf, wie er sich an der Oberfläche der Flüsse und Seen bildet, hat nur eine geringe Spannkraft; wenn das Wasser kocht, ist die Spannkraft der Dämpfe schon so groß, daß sie dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht halten kann, und bei noch höhern Temperaturen wächst diese Tension dermaßen, daß sie die furchtbarsten Explosionen von Dampfkesseln bewirkt. Man kann demnach fragen, welches wohl das Maximum der Tension des Dampfes in einem Raume seyn wird, welcher an verschiedenen Stellen ungleich erwärmt ist Nach den Bedingungen des Gleichgewichts gasförmiger Körper muß an allen Stellen dieses Raumes der Dampf gleiche Tension haben, und da an den kälteren Stellen die Spannkraft des Dampfes nicht so groß seyn kann als an den wärmeren, so ist klar, daß im ganzen Raume die Tension der Dämpfe dieselbe seyn muß wie an der kältesten Stelle, daß also an den wärmeren Stellen der Dampf nicht das Maximum der Spannkraft erreichen kann, welches dieser höheren Temperatur zukommt.

Dies Princip läßt sich mit Hülfe des Apparates Fig. 293 anschaulich machen. Wenn die Kugel a halb voll Aether gefüllt ist, bringt man diese Flüssigkeit ins Kochen; hat das Kochen einige Zeit lang fortgedauert, so daß man überzeugt seyn kann, alle Luft ausgetrieben zu haben, so taucht man das unten offene Ende der Röhre b, aus welchem der Dampfstrom entwich, rasch in ein Gefäß mit Quecksilber c. Beim Erkalten der Kugel

condensirt sich ein Theil der Dämpfe, das Quecksilber steigt in der Röhre, bis die ganze Kugel zu der Temperatur der umgebenden Luft erkaltet ist. Von diesem Moment an steigt das Quecksilber nicht mehr; wenn man aber die Kugel noch unter die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet, so steigt das Quecksilber von neuem, und zwar bis zu derselben Höhe, als wenn nicht nur die Kugel, sondern auch die ganze Röhre bis zum Quecksilber eben so stark erkaltet worden wäre.

Fig. 293.

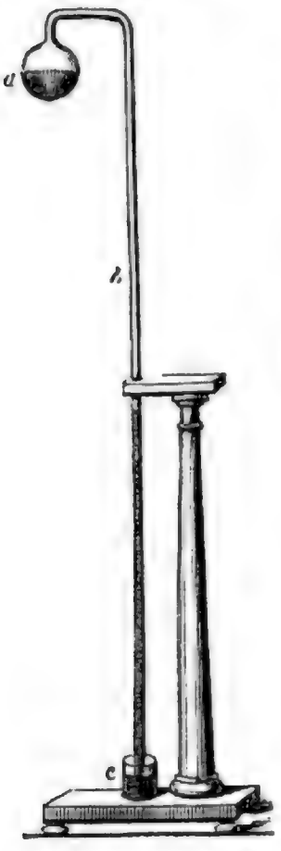


Fig. 294.

Messung der Spannkraft der Wasserdämpfe. 129 Um die Spannkraft des Wasserdampfs zu bestimmen, hat man verschiedenartige Apparate anzuwenden, je nachdem man sie für eine Temperatur zwischen 0^0 und 100^0, unter 0^0 oder über 100^0 ermitteln will.

Zwischen 0^0 und 100^0 wendet man den Fig. 294 abgebildeten Apparat an. Er besteht aus zwei Barometerröhren, welche neben einander in dasselbe Gefäß eingetaucht sind; die erste dieser Röhren bildet ein vollständiges Barometer, in der zweiten befindet sich über dem Quecksilber etwas Wasser, welches zum Theil im leeren Raum verdampft. Diese beiden Röhren werden mittelst eines Eisenstabes in ein hinlänglich tiefes Glasgefäß eingesenkt. Dieses Gefäß ist ganz mit Wasser gefüllt, welches man bis zu jeder beliebigen Temperatur zwischen 0^0 und 100^0 erwärmen kann. Die Temperatur dieses Wassers, welches durch zweckmäßig angebrachte Thermometer bestimmt wird, ist zugleich die der beiden Barometer und des Wasserdampfs in dem einen. Um die Elasticität des Wasserdampfs zu erhalten, welche jedem Temperaturgrade entspricht, hat man nur zu bestimmen, in welchem Verhältniß die Depression des Dampfbarometers zur Höhe der Quecksilbersäule im vollständigen Barometer steht. Wenn diese Depression auf 0 reducirt wird, so hat man die wahre Spannkraft des Wasserdampfs. Dies ist das einfache Verfahren, welches Dalton in Manchester im Jahre 1805 anwandte, um die Gesetze der Dämpfe zu studiren, und welches ihm diente, um die wahre Theorie ihrer Bildung und ihrer Elasticität zu begründen.

Um die Spannkraft der Wasserdämpfe unter 100^0 zu bestimmen, wandte Schmidt einen anderen Apparat an. Auf das Quecksilber im

Gefäß eines vollkommen fertigen Gefäßbarometers, Fig. 295, wurde Waſ-

Fig. 295.

ſer gebracht. Das Gefäß war zuvor in eine feine Spitze ausgezogen worden, welche, nachdem das Waſſer einige Zeit lang gekocht hatte, ſo daß man überzeugt ſeyn konnte, alle Luft ausgetrieben zu haben, zugeſchmolzen wurde. Ueber dem Waſſer im Gefäß befanden ſich jetzt nur noch Waſſerdämpfe, welche ſich beim Erkalten mehr und mehr verdichteten. Je weiter nun dieſe Verdichtung vor ſich ſchritt, deſto mehr nahm die Spannkraft der Dämpfe ab, deſto mehr ſank auch die Queckſilberſäule in der Röhre, deren Höhe urſprünglich dem Barometerſtande gleich war. Die Differenz im Stande des Queckſilberſpiegels in der Röhre und im Gefäß, welche man für eine beſtimmte Temperatur des Gefäßes beobachtet, giebt unmittelbar die Spannkraft des Waſſerdampfs für dieſe Temperatur. Taucht man z. B. das Gefäß in Waſſer von 25°, ſo beobachtet man, daß in dieſem Falle das Queckſilber in der Röhre 23 Millimeter über dem Queckſilberſpiegel im Gefäß ſteht; die Waſſerdämpfe, welche ſich alſo bei 25° bilden, haben eine ſolche Spannkraft, daß ſie eine 23 Millimeter hohe Queckſilberſäule tragen können.

Selbſt unter 0° haben die Waſſerdämpfe noch eine Spannkraft, das Eis verdampft wie das Waſſer. Um die Spannkraft der Dämpfe bei ſo niedrigen Temperaturen zu meſſen, kann man den ſchon erwähnten Apparat Fig. 293 anwenden; nur hat man in die Kugel Waſſer zu bringen und alle Luft durch hinlänglich langes Kochen vollſtändig auszutreiben, bevor man das untere Ende der Röhre in das Queckſilbergefäß taucht. Um die Spannkraft des Waſſerdampfs bei 0° zu erhalten, taucht man nur die Kugel in ein mit geſtoßenem ſchmelzenden Eis oder Schnee gefülltes Gefäß. Das Queckſilber in der Röhre ſteigt, jedoch erreicht die Säule nicht ganz die Höhe des gerade ſtattfindenden Barometerſtandes, man beobachtet noch eine Depreſſion von 5^{mm}.

Um die Spannkraft der Dämpfe für Temperaturen unter 0° zu erhalten, wendet man ſtatt des ſchmelzenden Eiſes Kältemiſchungen an, deren Temperatur immer mit Hülfe eines Thermometers genau beſtimmt werden kann. Nach dem Princip, von welchem in der vorigen Nummer die Rede war, iſt die Spannkraft der Dämpfe in dem ganzen durch die Queckſilberſäule abgeſperrten Raume nicht größer, als ſie am kälteſten Theile der Kugel ſeyn kann. Eine Folge davon iſt auch, daß ein kleines Waſſerſäulchen, welches gewöhnlich auf der Queckſilberſäule ſchwimmt, kleiner und kleiner wird und endlich ganz verſchwindet, weil die Waſſerdämpfe, die ſich hier bilden, raſch zur Kugel übergehen, wo ſie ſich zu Waſſer verdichten.

Wenn es ſich darum handelt, genaue Reſultate zu erhalten, muß die Röhre genau vertikal ſtehen, und die Höhe der Queckſilberſäule mit großer Genauigkeit gemeſſen werden.

Mit dieſem Apparat kann man überhaupt die Spannkraft der Dämpfe für alle Temperaturen beſtimmen, welche niedriger ſind als die der umgebenden Luft.

Um die Spannkraft der Waſſerdämpfe für Temperaturen über 100° zu meſſen, kann man einen Apparat anwenden, welcher ſich von dem, welchen Schmidt anwandte, um die Spannkraft unter 100° zu meſſen, nur dadurch unterſcheidet, daß die längere Röhre oben offen iſt, daß alſo die Atmoſphäre auf das Queckſilber in der Röhre drücken kann. Wenn vor dem Zuſchmelzen des Gefäßes der längere Schenkel offen iſt, ſo ſtellt ſich das Queckſilber in beiden gleich hoch. Man hat nach dem Zuſchmelzen der Spitze über dem Queckſilber im Gefäß nur Waſſer, welches erſt Dämpfe bilden kann, bei Temperaturen, für welche ihre Spannkraft größer iſt als der Druck einer Atmoſphäre. Bringt man das Gefäß in Oel, deſſen Temperatur mehr als 100° beträgt, ſo bilden ſich Waſſerdämpfe, welche auf das Queckſilber im Gefäß drücken und es im langen Rohre ſteigen machen. Die Differenz der Queckſilberſpiegel im Gefäß und der Röhre giebt an, wie viel die Spannkraft der Dämpfe größer iſt als ein Atmoſphärendruck.

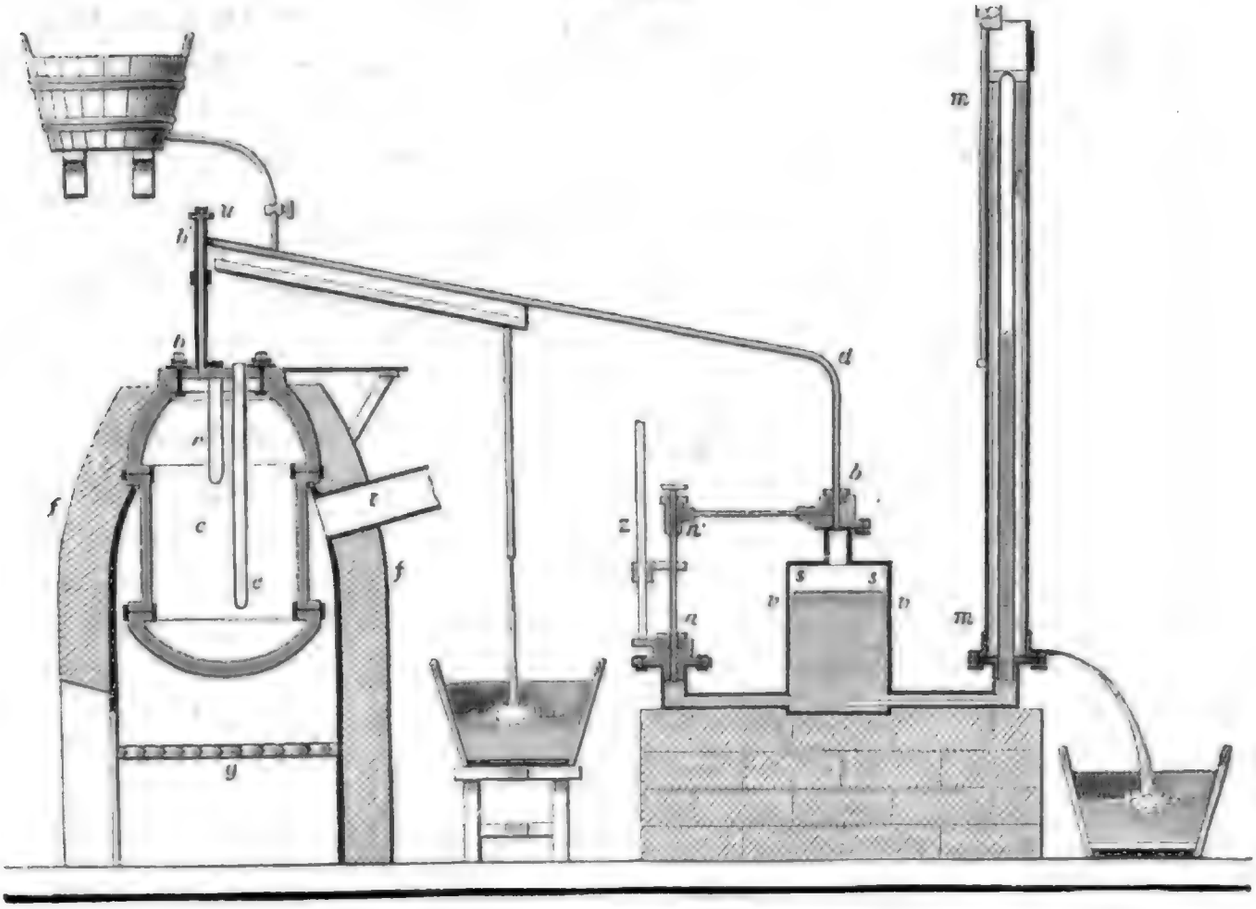
Um die Röhre vor dem Zerbrechen zu ſchützen und um zugleich die Höhe der gehobenen Queckſilberſäule meſſen zu können, iſt der Apparat auf einem getheilten Stabe befeſtigt. Wenn die Röhre lang genug iſt, kann man mit dieſer Vorrichtung die Tenſion der Waſſerdämpfe bis zu 3 bis 4 Atmoſphären meſſen.

Statt des langen Rohres kann man auch ein kürzeres anwenden, welches mit Luft gefüllt und oben verſchloſſen iſt. Wenn die Waſſerdämpfe im Gefäß das Queckſilber in die Röhre treiben, ſo wird die abgeſperrte Luft comprimirt, und man kann leicht aus der Compreſſion und der Höhendifferenz der beiden Queckſilberſpiegel die Spannkraft des Waſſerdampfes berechnen.

Wenn die Spannkraft der Dämpfe den Druck mehrerer Atmoſphären überſteigt, hat man ſehr große Schwierigkeiten zu überwinden. Die Wiſſenſchaft beſaß über dieſen Punkt nur unzuverläſſige Thatſachen, als Arago und Dulong von der franzöſiſchen Akademie der Wiſſenſchaften beauftragt wurden, die Elaſticität der Waſſerdämpfe bis zum höchſten Druck genau zu ermitteln, welcher noch bei induſtriellen Anwendungen vorkommen kann. Dieſe große Arbeit wurde im Jahre 1830 vollendet. Die Beſtätigung des Mariotte'ſchen Geſetzes bis zu einem Druck von 27 Atmoſphären war nur eine Vorarbeit zu dieſer wichtigen Unterſuchung.

Der Apparat, deſſen ſie ſich bedienten, iſt Fig. 296 abgebildet. Der Dampf wurde in einem ſtarken Dampfkeſſel *c* von Eiſenblech erzeugt,

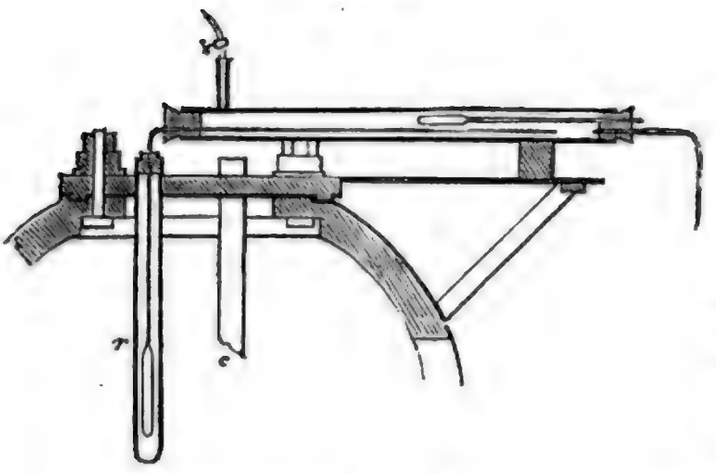
Fig. 296.



welcher ohngefähr ein Volumen von 80 Litern hatte. Am cylindriſchen Theile, welcher der ſchwächſte war, hatte die Wand eine Dicke von 13^{mm}. Die Figur zeigt noch den Ofen *f*, den Roſt *g* und die Röhre *t*, durch welche der Rauch entweicht.

Hätte man die Thermometer, welche zur Meſſung der Temperaturen dienen ſollten, unmittelbar in den Dampfkeſſel gebracht, ſo wäre zu befürchten geweſen, daß der Druck der Dämpfe das Gefäß der Thermometer comprimirt hätte, und daß in Folge deſſen das Queckſilber in den Thermometerröhren höher geſtiegen wäre, als der Temperaturerhöhung entſpricht. Um dies zu vermeiden, waren zwei Flintenläufe, *e* und *r*, in den Deckel eingelaſſen, welche oben offen und unten verſchloſſen mit Queckſilber gefüllt waren. Der eine dieſer Läufe ragte bis in das Waſſer des Keſſels herab, der andre nicht ganz bis auf den Waſſerſpiegel, ſo daß das Queckſilber im einen Laufe die Temperatur des Waſſers, im andern die des Dampfes angab. In jeden Lauf war nun ein Thermometer eingeſenkt, deſſen Röhre oberhalb des Laufes horizontal umgebogen war. Weil das Queckſilber der Thermometerröhre, da wo ſie ſich außerhalb des Queckſilbers befindet, eine geringere

Fig. 297.



Temperatur hat, so können Fehler entstehen, wenn man diese Temperaturdifferenz nicht in Rechnung bringt. Um dies möglich zu machen, wird der horizontale Theil der Röhre durch einen Wasserstrom auf constanter Temperatur erhalten. Diese Anordnung ist deutlicher aus Fig. 297 zu ersehen.

Um die Spannkraft der Dämpfe zu messen, wurde dieselbe Manometerröhre angewandt, welche zuvor gedient hatte, um das Mariotti'sche Gesetz bis auf 27 Atmosphären zu prüfen. Statt daß aber das Wasser durch eine Druckpumpe in das gußeiserne Gefäß vv' (Fig. 296) eingepreßt wurde, übt jetzt der Dampf diesen Druck aus. Aus dem Dampfkessel erhebt sich nämlich eine vertikale Röhre bb', in welcher der Dampf aufsteigt und bei u gegen den Gipfel einer Wassersäule drückt, welche die geneigte Röhre udh und den obern Theil des Gefäßes vv' füllt. Dieser Druck pflanzt sich auf die Oberfläche des Quecksilbers in vv' fort und bewirkt eine Compression der Luft in der Manometerröhre mm'. Da man den Druck kennt, welcher jedem Stande des Quecksilbers in der Manometerröhre entspricht, so kann man daraus leicht die Spannkraft des Dampfes ermitteln. Nur sind noch zwei Correctionen nöthig, eine wegen der verticalen Höhe der Wassersäule von u bis zum Quecksilberspiegel in vv', die andre wegen der veränderlichen Höhe des Quecksilbers in diesem Gefäße. Um diese Höhe genau ermitteln zu können, ist eine Glasröhre nn' mit dem oberen und unteren Theile des Gefäßes vv' in Verbindung gebracht, und man kann den Stand des Quecksilbers in dieser Röhre mit Hülfe eines auf dem getheilten Stabe z beweglichen Schiebers beobachten.

Damit das Wasser in dem oberen Theile der Röhre ud nicht erwärmt werden kann, wird sie durch einen beständig fließenden Wasserstrom auf constanter Temperatur erhalten.

Die Beobachtungen mit diesem Apparate wurden in folgender Weise angestellt. Nachdem in den Kessel eine solche Menge Wasser gegossen war, daß der Behälter des kleineren Thermometers eben über dem Wasserspiegel war, wurde die Flüssigkeit 15 bis 20 Minuten lang im Kochen erhalten, während das Sicherheitsventil des Kessels und die vertikale Röhre bb' offen blieb, um alle atmosphärische Luft auszutreiben. Auf den Rost des Ofens wurde dann eine größere oder kleinere Menge Brennmaterial auf-

gelegt, je nachdem man eine höhere oder weniger hohe Temperatur zu erhalten beabſichtigte, und nun alle Oeffnungen des Keſſels geſchloſſen. Die beiden Thermometer und die Queckſilberſäule im Manometer begannen nun raſch zu ſteigen, bald aber wurde das Steigen langſamer und erreichte ein Maximum. In dem Moment dieſes Maximums wurde der Stand der Thermometer von dem einen Beobachter, der Stand des Manometers aber von dem andern notirt. Auf dieſe Weiſe wurden 30 Beobachtungen gemacht; die niedrigſte Temperatur war 123,7° und die entſprechende beobachtete Spannkraft des Dampfes war 2,14 Atmoſphären, die höchſte Temperatur war 223,15° und die entſprechende Spannkraft 23,994 Atmoſphären.

Zwiſchen dem großen und kleinen Thermometer fanden gewöhnlich kleine Differenzen Statt, jedoch betrug der größte Unterſchied nur 0,7°; bei den meiſten Beobachtungen war jedoch der Unterſchied weit kleiner. Die Angaben des großen Thermometers wurden als die zuverläſſigeren betrachtet, weil man wohl annehmen kann, daß der in das Waſſer eingetauchte Behälter des großen Thermometers raſcher die Temperatur der Umgebung annimmt als der von dem weit weniger dichten Dampf umgebene.

Um nach den gemachten Beobachtungen die Spannkraft der Dämpfe für Temperaturen zu beſtimmen, welche zwiſchen die beobachteten fallen, muß man eine empiriſche Formel zwiſchen der Spannkraft e und der entſprechenden Temperatur t ſuchen, welche ſich den gemachten Beobachtungen möglichſt gut anſchließt. Nach ſolchen empiriſchen Formeln ſind nun die folgenden Tabellen berechnet.

Erſte Tabelle.

Spannkraft des Waſſerdampfs von — 20° bis 100° C.

Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millim.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.	Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millim.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.
—20	1,333	0,0018	9	8,909	0,0122
—15	1,879	0,0026	10	9,475	0,0129
—10	2,631	0,0036	11	10,074	0,0137
— 5	3,660	0,0050	12	10,707	0,0146
0	5,059	0,0069	13	11,378	0,0155
1	5,393	0,0074	14	12,087	0,0165
2	5,748	0,0078	15	12,837	0,0170
3	6,123	0,0084	16	13,630	0,0186
4	6,523	0,0089	17	14,468	0,0197
5	6,947	0,0094	18	15,353	0,0209
6	7,396	0,0101	19	16,288	0,0222
7	7,871	0,0107	20	17,314	0,0235
8	8,375	0,0114	21	18,317	0,0250

Fortsetzung der ersten Tabelle.

Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millim.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.	Grade.	Spannkraft des Dampfes in Millim.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.
22	19,447	0,0265	62	138,960	0,21586
23	20,577	0,0281	63	165,560	0,22639
24	21,805	0,0297	64	174,470	0,23758
25	23,090	0,0314	65	182,710	0,24823
26	24,452	0,0334	66	191,270	0,25986
27	25,881	0,0353	67	200,180	0,27196
28	27,390	0,0374	68	209,440	0,28454
29	29,045	0,0396	69	219,060	0,29761
30	30,643	0,0418	70	229,070	0,31121
31	32,410	0,0440	71	239,450	0,32532
32	34,261	0,0465	72	250,230	0,33996
33	36,188	0,0492	73	261,430	0,35518
34	38,254	0,0520	74	273,030	0,37094
35	40,404	0,0549	75	285,070	0,39632
36	42,743	0,0581	76	297,570	0,40428
37	45,038	0,0612	77	310,490	0,42184
38	47,759	0,0646	78	323,890	0,44004
39	50,147	0,0681	79	337,760	0,45888
40	52,998	0,0720	80	352,080	0,47834
41	55,772	0,0758	81	367,000	0,49860
42	58,792	0,0799	82	382,380	0,51950
43	61,958	0,08418	83	398,280	0,54110
44	65,627	0,08916	84	414,730	0,56345
45	68,751	0,09340	85	431,710	0,58652
46	72,393	0,09835	86	449,260	,61036
47	76,205	0,1035	87	467,380	0,63498
48	80,195	0,10900	88	486,090	0,66040
49	84,370	0,11662	89	505,380	0,68661
50	88,743	0,12056	90	525,28	0,71364
51	93,301	0,12676	91	547,80	0,74152
52	98,075	0,13325	92	566,95	0,77026
53	103,060	0,13999	93	588,74	0,79986
54	108,070	0,14710	94	611,18	0,83035
55	113,710	0,15449	95	634,27	0,86172
56	119,390	0,16220	96	658,05	0,89402
57	125,310	0,17035	97	682,59	0,92736
58	131,500	0,17866	98	707,63	0,96138
59	137,940	0,18736	99	733,46	0,99448
60	144,660	0,19653	100	760,00	0,03253
61	151,700	0,20610			

Zweite Tabelle.

Spannkraft in Atmoſ., die Atmoſ. gleich 76 Centim. Queckſ.	Entſprechende Temperaturen nach dem 100theil. Queckſilber-Thermometer.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.	Spannkraft in Atmoſ., die Atmoſ. gleich 76 Centim. Queckſ.	Entſprechende Temperaturen nach dem 100theil. Queckſilber-Thermometer.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.
1	100	1,033	13	193,7	13,429
1½	112,2	1,549	14	197,19	14,462
2	121,4	2,066	15	200,48	15,495
2½	128,8	2,582	16	203,60	16,528
3	135,1	3,099	17	206,57	17,561
3½	140,6	3,615	18	209,4	18,594
4	145,4	4,832	19	212,1	19,627
4½	149,06	4,648	20	214,7	20,660
5	153,08	5,165	21	217,2	21,693
5½	156,8	5,681	22	219,6	22,726
6	160,2	6,198	23	221,9	23,759
6½	163,48	6,714	24	224,2	24,792
7	166,5	7,231	25	226,3	25,825
7½	169,37	7,747	30	236,2	30,990
8	172,1	8,264	35	244,85	36,155
9	177,1	9,297	40	252,55	41,320
10	181,6	10,33	45	259,52	46,485
11	186,03	11,363	50	265,89	51,650
12	190,0	12,396			

Dritte Tabelle.

Spannkraft in Atmoſphären ausgedr.	Entſprechende Temperaturen.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.	Spannkraft in Atmoſphären ausgedr.	Entſprechende Temperaturen.	Druck auf 1 Quad.-Cent. in Kilogr.
100	311,36	103,3	600	462,71	619,8
200	363,58	206,6	700	478,45	723,1
300	397,65	309,9	800	492,47	826,4
400	423,57	413,2	900	505,16	929,7
500	444,70	516,5	1000	516,76	1033,0

Die erste dieser Tabellen ist nach einer etwas complicirten Formel berechnet, welche nach den von Dalton zwischen 0° und 100° gemachten Beobachtungen construirt wurde.

Den Beobachtungen von Arago und Dulong entspricht bis zu 4 Atmosphären am besten eine von Tredgold aufgestellte empirische Formel

$$log.\ e = \frac{23{,}94571\ t}{800 + 3\ t}\ 2{,}2960383,$$

wo e die Spannkraft und t die Temperatur bezeichnet; nach dieser Formel ist die zweite Tabelle bis zu 4 Atmosphären berechnet. Ueber 4 Atmosphären stimmt die Formel

$$e = (1 + 0{,}7153\ t)^5$$

besser mit den Versuchen überein, in welcher t die Temperaturen über 100° bezeichnet, wenn man 100° zur Einheit nimmt; für 136° z. B. hat man zu setzen $t = 0{,}36$. Nach dieser ist die zweite Tabelle von 4 Atmosphären an berechnet, sie geht noch über die Grenzen der Beobachtung, d. h. noch über 24 Atmosphären hinaus bis zu 50 Atmosphären. Auch die dritte Tabelle ist nach dieser Formel berechnet.

Um die Relation zwischen der Temperatur und der Spannkraft des Wasserdampfs darzustellen, sind schon über 30 empirische Formeln aufgestellt worden, welche sich bald mehr, bald weniger der Erfahrung anschließen. Eine ziemlich einfache Beziehung ergiebt sich aus folgender Betrachtung.

Die folgende kleine Tafel enthält aus den Versuchen von Dulong und Arago abgeleitete, nach einer geometrischen Reihe fortschreitende Spannkräfte des Wasserdampfs nebst den zugehörigen Temperaturen.

Atmosphären.	Temperatur in Graden.	Differenz in Graden.
1	100	
		21,4
2	121,4	
		24
4	145,4	
		26,7
8	172,1	
		31,5
16	203,6	

Die dritte Columne dieser Tafel enthält die Temperaturdifferenzen, um welche jedes Mal die Temperatur steigen muß, damit die zugehörige Tension der Wasserdämpfe verdoppelt wird. Die Zahlen dieser Columne sind nun sehr nahe Glieder einer geometrischen Reihe, denn die Quotienten je zweier auf einander folgender sind fast gleich; durch sehr unbedeutende Correctionen läßt sich wirklich eine geometrische Reihe aus ihnen bilden.

Nehmen wir die Temperaturen 100°, 145,4°, 203,6°, zu welchen die Spannkräfte 1, 4 und 16 Atmoſphären gehören, als abſolut genau an, ſo iſt es leicht, die Temperaturen, welche den Spannkräften 2 und 8 Atmoſphären entſprechen, ſo zu berechnen, daß die jedesmaligen Temperaturdifferenzen eine geometriſche Reihe bilden. Dieſer Bedingung leiſten die in der zweiten Columne der folgenden Tafel enthaltenen berechneten Temperaturen Genüge.

Atmoſphären.	Berechnete Temperatur in Graden.	Beobachtete Temperatur in Graden.	Differenz.
1	100	100	0
2	121,292	121,4	— 0,108
4	145,4	145,4	0
	172,695	172,1	+ 0,595
16	203,6	203,6	0

Wir nehmen alſo an, daß von 100° ausgehend die Temperatur um 21,292° wachſen müſſe, um die Spannkraft zu verdoppeln; ſie abermals zu verdoppeln, muß die Temperatur um $21{,}292 \times 1{,}13224$ wachſen. Um die Spannkraft von 4 bis zu 8 Atmoſphären zu ſteigern, muß die Temperatur wieder um $21{,}292 \times 1{,}13224^2$ wachſen u. ſ. w.

Die Differenzen in der letzten Columne liegen ganz innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler.

Das eben betrachtete Geſetz iſt aus Beobachtungen zwiſchen 100° und 203,6° abgeleitet worden, und es ließ ſich deshalb auch erwarten, daß es innerhalb dieſer Grenzen ſich den Beobachtungen gut anſchließt. Es fragt ſich nun aber, wie die nach dieſem Geſetze berechneten Werthe unter 100° mit der Beobachtung übereinſtimmen. Unſrer Hypotheſe zufolge muß die Spannkraft gleich einer halben Atmoſphäre werden, wenn die Temperatur von 100° um $\frac{21{,}292}{1{,}13224}$ Grad ſind. Eine abermalige Temperaturerniedrigung um $\frac{21{,}292}{1{,}13224^2}$ Grad muß die Spannkraft auf $\frac{1}{4}$ Atmoſphäre reduciren u. ſ. w. Auf dieſe Weiſe ſind die Temperaturen der folgenden Tabelle berechnet, welche der Tenſion $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ u. ſ. w. Atmoſphäre entſprechen.

Temperatur.	Spannkraft in Atm.	Spannkraft in Millim.	Spannkraft nach Dalton.	Differenz in Millim.
81,19	$\frac{1}{2}$	380	370	+ 10
64,58	$\frac{1}{4}$	190	179,4	+ 10,6
49,91	$\frac{1}{8}$	95	87,3	+ 7,7
36,96	$\frac{1}{16}$	47,5	44,9	+ 2,6
25,54	$\frac{1}{32}$	23,75	23,77	— 0,02
15,41	$\frac{1}{64}$	11,87	13,16	— 1,29
6,48	$\frac{1}{128}$	5,94	7,62	— 1,68
— 1,4	$\frac{1}{256}$	2,97	4,59	— 1,62
— 8,36	$\frac{1}{512}$	1,48	3,04	— 1,56

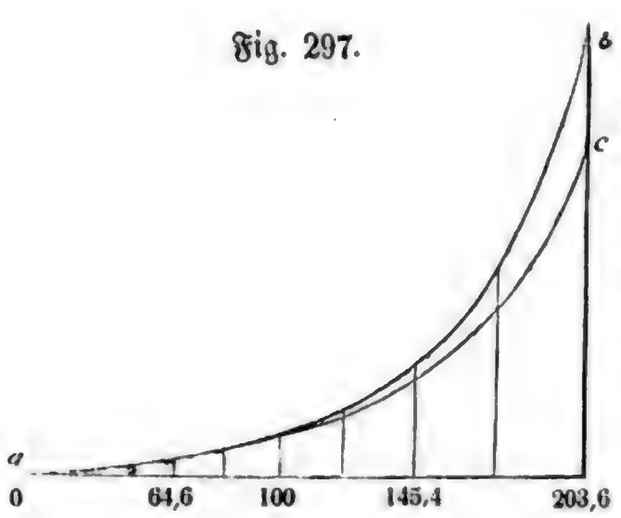
Man sieht aus dieser Tabelle, daß unsere Hypothese über 25° größere, unter 25° aber kleinere Werthe giebt als die Dalton'sche Tafel S. 222, jedoch sind die Abweichungen noch nicht so groß als die Differenzen der Beobachtungen der verschiedenen Physiker. Die Beobachtungen von Arzberger stimmen am besten mit unserer Rechnung, sie fallen mit derselben stets auf dieselbe Seite der Dalton'schen, d. h. nach Arzberger ist die Spannkraft auch unter 25° kleiner, über 25° größer, als sie Dalton angiebt. Nach Arzberger ist die Tension für 81,19 Grad 383,5^{mm}, was nur um 3,5^{mm} von unserer Rechnung abweicht. Schmidt hat hier eine noch größere Spannkraft gefunden als Arzberger, unser Resultat fällt also zwischen die verschiedenen Beobachtungen.

Aus unserer Hypothese ergiebt sich folgende Formel:

$$\log. e = 5{,}58108. \log. (1 + 0{,}0062108\, t)$$

wo e die Spannkraft, t die Anzahl Grade bezeichnet, um welche die gerade betrachtete Temperatur von 100° abweicht. Für Temperaturen über 100° ist t positiv, unter 100° negativ zu setzen.

Fig. 297.



Die Kurve ab Fig. 297 stellt das Gesetz der Spannkraft der Wasserdämpfe dar. Die Temperaturen sind als Abscissen, die Spannkräfte als Ordinaten aufgetragen.

Spannkraft der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten. Man sieht aus den vorhergehenden Ta- 131

bellen, daß für die Temperatur des Siedepunktes die Spannkraft des Waſſerdampfs dem Druck der Atmoſphäre das Gleichgewicht hält; dies iſt ganz allgemein wahr; die Spannkraft des Dampfes, welcher ſich aus irgend einer kochenden Flüſſigkeit bildet, iſt immer dem Drucke gleich, welcher auf der Oberfläche der Flüſſigkeit laſtet; denn wenn ſie geringer wäre, ſo könnte der Dampf nicht in Geſtalt von Blaſen im Innern der Flüſſigkeit beſtehen; und wenn ſie ſtärker wäre, ſo müßte ſich der Dampf ſchon früher gebildet haben. Für den Siedepunkt haben die Dämpfe aller Flüſſigkeiten gleiche Spannkraft. Dalton glaubte, daß für eine gleiche Anzahl Grade über oder unter dem Siedepunkt die Spannkräfte immer noch gleich ſeyen. Nach dem Dalton'ſchen Geſetze wäre es alſo nur nöthig die Tafel für die Spannkraft des geſättigten Waſſerdampfs zu haben und den Siedepunkt einer Flüſſigkeit zu kennen, um die Spannkraft ihrer Dämpfe für alle Temperaturen zu ermitteln. Der Siedepunkt des Alkohols z. B. iſt 78^0; die Spannkraft des Alkoholdampfs bei 113^0, alſo 35^0 über dem Siedepunkt, müßte der Spannkraft des Waſſerdampfs bei 135^0 gleich ſeyn, welche 2280^{mm} oder 3 Atmoſphären iſt. Nach dieſem Geſetze wäre die Spannkraft des geſättigten Alkoholdampfes bei 0^0 gleich 19^{mm}, weil dies die Spannkraft des Waſſerdampfs bei einer Temperatur iſt, welche 78^0 unter dem Siedepunkt des Waſſers liegt. Aus den Verſuchen mehrerer Phyſiker geht jedoch hervor, daß dies Geſetz nicht genau iſt. Bei größeren Entfernungen vom Siedepunkt weicht es merklich von der Wahrheit ab, und wenn es auch als erſte Annäherung einen bequemen Ueberblick erlaubt, ſo muß man es doch verlaſſen, wo Genauigkeit gefordert wird.

Es wäre zu wünſchen, daß man über die Spannkraft der Dämpfe der gewöhnlicheren Flüſſigkeiten wenigſtens eben ſo genaue und vollſtändige Verſuchsreihen hätte als über den Waſſerdampf. Die Reſultate der wenigen hierüber angeſtellten Verſuche ſind in den folgenden Tabellen zuſammengeſtellt.

Die Spannkräfte des Weingeiſtdampfes in der erſten Tabelle ſind nach den beſten Verſuchen von Ure und Schmidt, die Spannkraft des Aetherdampfs nach Verſuchen von Schmidt und Munke berechnet. Die dritte Columne giebt die Tenſion der Dämpfe von Schwefelkohlenſtoff nach den Verſuchen von Marx.

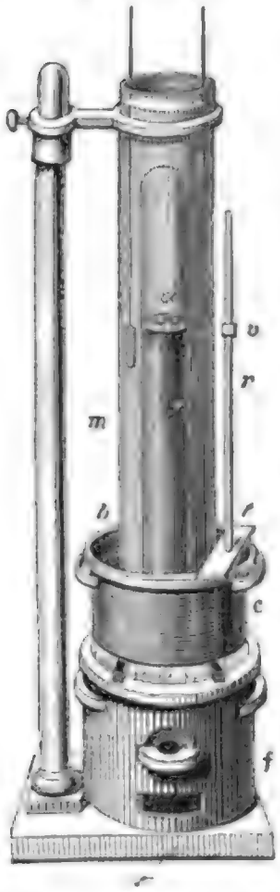
Temperatur.	Spannkraft der Dämpfe von		
	Weingeiſt.	Schwefelkohlenſtoff.	Schwefeläther.
— 5		90mm	108mm
0	9mm	130	148
+ 10	18	192	237
20	35	290	378
30	62	423	575
40	111	594	855
50	189	828	1,6 Atm.
60	310	1134	2,3
70	494	—	3,2
80	769	—	4,4
90	1,54 Atm.	—	5,9
100	2,37	—	7,8
125	12,56	—	15
250	145,2	—	151

Ueber die Spannkraft einiger condenſirten Gaſe hat Bunſen Verſuche angeſtellt, deren Reſultate in folgender Tabelle enthalten ſind.

Temperatur.	Schweflige Säure.	Cyangas.	Ammoniak.
— 37	—	—	749mm
— 20	—	800mm	—
— 15	—	1100	—
— 10	780mm	1410	—
— 5	1110	1730	3040
0	1480	2070	3610
+ 5	1910	2440	4260
10	2390	2880	4980
15	2930	3330	5780
20	3540	3800	6674
25.	4200	—	—

132 **Dichtigkeit des Waſſerdampfs.** Unter allen Mitteln, welche man angewandt hat, um die Dichtigkeit des Waſſerdampfes zu beſtimmen, ſcheint das von Gay-Luſſac angegebene Verfahren das einfachſte und ſtrengſte zu ſeyn; es beſteht darin, direct das Gewicht, das Volumen, die Temperatur und die Spannkraft einer gegebenen Quantität Dampf zu ſuchen. Der von ihm angewandte Apparat iſt Fig. 298 dargeſtellt. Auf einem Ofen *f* ſteht ein gußeiſernes Gefäß *c*, welches Queckſilber enthält, *g* iſt eine graduirte Röhre von 3 bis 4 Decimeter Länge, welche in das Queckſilber des Gefäßes *c* eingetaucht iſt. *m* iſt ein Mantel von Glas, welcher mit einer geeigneten Flüſſigkeit vollgegoſſen wird, ſo daß die Röhre vom Niveau des Queckſilbers in *c* an bis zur Spitze mit dieſer Flüſſigkeit umgeben iſt. Durch das Brett *t*, welches auf dem abgeſchliffenen genau horizontalen Rande des Gefäßes *c* aufliegt, geht ein getheilter Stab *r* vertikal hindurch. Bevor die Röhre *g* in das Gefäß *c* eingetaucht wird, muß ſie erſt mit Queckſilber ſo gefüllt werden, daß alle Luft ausgetrieben iſt, daß alſo nach ihrem Umkehren und nach dem Eintauchen in das Queckſilber des Gefäßes *c* die Röhre *g* noch vollſtändig im Queckſilber gefüllt iſt und an der Spitze ſich keine Luftblaſe zeigt. Man läßt nun ein Glaskügelchen, welches, in eine feine Spitze ausgezogen, faſt ganz mit Waſſer gefüllt und dann zugeſchmolzen worden iſt, in der Röhre *g* in die Höhe ſteigen. Wenn man nun glühende Kohlen in den Ofen bringt, ſo wird alles erwärmt. Das Waſſer in dem zugeſchmolzenen Glaskügelchen dehnt ſich aus und zerſprengt ſeine Hülle. Sogleich bilden ſich Waſſerdämpfe im obern Theile der Röhre *g*, und das Queckſilber ſinkt. Man ſteigert die Temperatur ſo lange, bis alles Waſſer vollſtändig verdampft iſt, und erhält dann das Ganze eine Zeit lang auf einer conſtanten Temperatur, während man die nöthigen Beobachtungen macht.

Fig. 298.



1°. Wenn alles Waſſer verdampft iſt, kennt man genau das Gewicht des Dampfes, denn das Glaskügelchen muß man vorher leer, dann mit Waſſer gefüllt gewogen haben; die Differenz dieſer beiden Gewichte iſt das Gewicht des Waſſers, alſo auch das Gewicht des Dampfes, welcher nun im obern Theile der Röhre *g* ſich befindet.

2°. Man beobachtet die Anzahl der Theilſtriche auf der Röhre, welche der Dampf einnimmt. Da der Raum zwiſchen je zwei Theilſtrichen der Röhre bei der Temperatur von 0° bekannt iſt, ſo kann man leicht mit

Berücksichtigung der Ausdehnung des Glases die Capacität zwischen zwei Theilstrichen für die Temperatur berechnen, bei welcher alle Beobachtungen gemacht worden. Auf diese Weise bestimmt man das Volumen des Dampfes.

3°. Zweckmäßig angebrachte Thermometer geben die Temperatur der Flüssigkeit in der Hülle und des Dampfes in der Röhre an.

4°. Die Spannkraft des Dampfes endlich beobachtet man mit Hülfe des getheilten Stabes *r*. Man schiebt diesen Stab so weit herunter, daß sein unteres Ende eben den Quecksilberspiegel im Gefäß *c* berührt, und dann rückt man den Schieber *v* genau in die Höhe der Quecksilberkuppe in der Röhre, so daß also die Quecksilberkuppe und der untere Rand des Schiebers in einer horizontalen Linie liegen. Die Höhe des Stabes von unten bis zu dem Schieber giebt die Höhe der Quecksilbersäule in der Röhre. Diese Höhe auf 0° reducirt und von dem auf 0° reducirten Barometerstande abgezogen, giebt die Spannkraft des Dampfes. Um sicher zu seyn, daß alles Wasser vollständig verdampft ist, muß man so weit erwärmen, daß der Dampf für diese Temperatur nicht mehr gesättigt ist, daß also die beobachtete Spannkraft geringer ist als das Maximum der Spannkraft für die beobachtete Temperatur.

Man kennt nun das Gewicht eines gegebenen Volumens Dampf, welcher bei bekannter Temperatur einen bekannten Druck ausübt, und kann danach leicht berechnen, wie viel ein Kubikcentimeter dieses Dampfes wiegt. Man kann aber nun auch leicht nach den Angaben auf S. 301 berechnen, wie viel ein Kubikcentimeter Luft bei demselben Drucke und bei derselben Temperatur wiegt. Ist nun das Gewicht gleicher Volumina Luft und Wasserdampf bei gleicher Temperatur und gleichem Drucke bekannt, so kann man leicht das Verhältniß der Dichtigkeit des Wasserdampfs zur Dichtigkeit der Luft bestimmen. Nach Gay-Lussac's Versuchen ist die Dichtigkeit des Wasserdampfs $^5/_8$ von der der Luft.

Man kann nun leicht berechnen, welchen Raum $1^{gr.}$ Wasserdampf bei 100° und einem Druck von 760^{mm} bei dem Maximum des Drucks für diese Temperatur einnehmen muß.

Ein Kubikcentimeter Luft von 0° und einem Drucke von 760^{mm} wiegt 0,001299 Gramm. Bei unverändertem Drucke bis zu 100° erwärmt, dehnt sich die Luft so aus, daß aus dem Einen Kubikcentimeter 1,375 Kub.-C. werden. Wenn aber $0{,}001299^{gr.}$ einen Raum von 1,375 Kub.-C. einnimmt, so wird $1^{gr.}$ dieser Luft einen Raum von $\frac{1{,}375}{0{,}001299} = 1058{,}47$ Kub.-C. einnehmen.

Ein Gramm Wasserdampf von 100° und 760^{mm} Spannkraft muß aber einen $^8/_3$mal so großen Raum, also einen Raum von 1693,55 Kub.-C. einnehmen. Ein Kub.-C. Wasser nimmt also, wenn es bei 100° verdampft,

einen sehr nahe 1700mal größern Raum ein, vorausgesetzt, daß der Dampf sich im Maximum der Spannkraft befindet.

Aus unsern Daten kann man aber auch die Dichtigkeit d' des Wasserdampfs für irgend eine Temperatur t und irgend einen Druck p berechnen; denn wenn man mit d die Dichtigkeit bei 100^0 und einem Drucke von 760^{mm} bezeichnet, so findet man

$$d' = d\,\frac{p}{760}\,\frac{(1+100\alpha)}{(1+\alpha t)}$$

wo α den Ausdehnungscoëfficienten der Luft bezeichnet. Nach dieser Formel sind die folgenden Tafeln berechnet, und dabei ist noch Gay-Lussac's Coëfficient $\alpha = 0{,}00375$ angenommen. Diese Tabellen geben die Dichtigkeit des Wasserdampfs im Maximum der Spannkraft, wie sie schon in den obigen Tabellen angegeben worden ist.

Erste Tabelle.

Dichtigkeit und Volumen des Wasserdampfs im Maximum der Spannkraft, wenn man zur Einheit die Dichtigkeit und das Volumen des flüssigen Wassers bei 0^0 nimmt:

von -20^0 bis 100^0.

Temperatur in Graden.	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit.	Volumen.	Temperatur in Graden.	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit.	Volumen.
— 20	1,333	0,00000154	650588	13	11,378	0,00001157	86426
— 15	1,879	212	470898	14	12,087	1224	81686
— 10	2,631	292	342984	15	12,837	1299	77008
— 5	3,660	398	251358	16	13,630	1372	72913
0	5,059	540	182323	17	14,468	1451	68923
1	5,393	573	174495	18	15,353	1534	65201
2	5,748	609	164332	19	16,288	1622	61654
3	6,123	646	154842	20	17,314	1718	58224
4	6,523	686	145886	21	18,317	1811	55206
5	6,947	727	137488	22	19,417	1914	52260
6	7,396	772	129587	23	20,577	2021	49487
7	7,871	818	122241	24	21,805	2133	46877
8	8,575	867	115305	25	23,090	2252	44411
9	8,909	919	108790	26	24,452	2376	42084
10	9,475	974	102670	27	25,881	2507	39895
11	10,074	0,00001032	99202	28	27,390	2643	37838
12	10,707	1092	91564	29	29,045	2794	35796

Fortſetzung der erſten Tabelle.

Temperatur in Graden.	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit.	Volumen.	Temperatur in Graden.	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit.	Volumen.
30	30,643	0,00002938	34041	66	191,270	0,00016356	6114
31	32,410	3097	32291	67	200,180	17060	5860
32	34,261	3263	30650	68	209,440	17797	5619
33	36,188	3435	29112	69	219,060	18566	5386
34	38,254	3619	27636	70	229,070	19355	5167
35	40,404	3809	26253	71	239,450	20174	4957
36	42,743	4017	24897	72	250,230	21013	4795
37	45,038	4219	23704	73	261,430	21889	4569
38	47,579	4442	22513	74	273,030	22794	4387
39	50,147	4666	21429	75	285,070	23789	4204
40	52,998	4916	20343	76	297,570	24702	4048
41	55,772	5156	19396	77	310,490	25699	3891
42	58,792	5418	18459	78	323,890	26739	3741
43	61,958	5691	17572	79	337,760	27789	3599
44	65,627	6023	16805	80	352,080	28889	3462
45	68,751	6274	15938	81	367,000	30025	3331
46	72,393	6585	15185	82	382,380	31195	3206
47	76,205	6910	14472	83	398,280	32399	3087
48	80,195	7242	13800	84	414,730	33637	2973
49	84,570	7602	13154	85	431,710	34916	2864
50	88,742	7970	12546	86	449,260	36237	2760
51	93,301	8354	11971	87	467,380	37590	2660
52	98,075	8753	11424	88	486,090	38984	2565
53	103,060	9174	10901	89	505,380	40417	2474
54	108,270	9606	10410	90	525,280	41891	2387
55	113,710	0,00010054	9946	91	545,800	43405	2304
56	119,390	10525	9501	92	566,950	44956	2224
57	125,310	11011	9082	93	588,740	46556	2148
58	131,500	11523	8680	94	611,180	48201	2075
59	137,940	12044	8303	95	634,270	49886	2005
60	144,660	12599	7937	96	658,050	51613	1938
61	151,700	13179	7594	97	682,590	53388	1873
62	158,960	13760	7267	98	707,630	55191	1812
63	166,560	14374	6957	99	733,460	57055	1751
64	174,470	15010	6662	100	760,000	58955	1696
65	182,710	15668	6382				

Zweite Tabelle.

Dichtigkeit und Volumen des Waſſerdampfs im Maximum der Spannkraft, die Dichtigkeit und das Volumen des Waſſers bei 0° gleich 1 geſetzt von 1 bis 50 Atmoſphären.

Temperatur.	Spannkraft in Atmoſphären.	Dichtigkeit.	Volumen.	Temperatur.	Spannkraft in Atmoſphären.	Dichtigkeit.	Volumen.
100	1	0,0005895	1696	193,7	13	0,006107	163,74
112,2	1½	0,0008563	1167,8	197,2	14	0,006527	153,10
121,4	2	0,0011147	897,09	200,5	15	0,006944	144,00
128,8	2½	0,0013673	731,39	203,6	16	0,007359	135,90
135,1	3	0,0016150	619,19	206,6	17	0,007769	128,71
140,6	3½	0,0018589	537,96	209,4	18	0,008178	122,28
145,4	4	0,0020997	476,26	212,1	19	0,008583	116,51
149,1	4½	0,0023410	427,18	214,7	20	0,008986	111,28
153,1	5	0,0025763	388,16	217,2	21	0,009387	106,53
156,8	5½	0,0028091	355,99	219,6	22	0,009785	102,19
160,2	6	0,0030402	328,93	221,9	23	0,010182	98,21
163,5	6½	0,0032683	305,98	224,2	24	0,010575	94,56
166,5	7	0,0034911	286,12	226,3	25	0,010968	91,17
169,4	7½	0,0037217	268,82	236,2	30	0,012903	77,50
172,1	8	0,0039434	253,59	244,8	35	0,014663	68,20
177,1	9	0,0043865	227,98	252,5	40	0,016644	60,08
181,6	10	0,0048226	207,36	259,5	45	0,018497	54,06
186,0	11	0,0052557	190,27	265,9	50	0,020306	49,32
190,0	12	0,0056834	175,96				

Dritte Tabelle.

Dichtigkeit und Volumen des Waſſerdampfs im Maximum der Spannkraft, die Dichtigkeit und das Volumen des Waſſers bei 0° zur Einheit genommen von 100 bis 1000 Atmoſphären.

Temperatur.	Spannkraft in Atmoſphären.	Dichtigkeit.	Volumen.	Temperatur.	Spannkraft in Atmoſphären.	Dichtigkeit.	Volumen.
311,36	100	0,037417	26,726	462,71	600	0,17791	5,621
363,58	200	0,068635	14,570	478,45	700	0,20318	4,921
397,65	300	0,097671	10,238	492,47	800	0,2279	4,387
423,57	400	0,12534	7,978	505,16	900	0,2522	3,965
444,70	500	0,15202	6,578	516,76	1000	0,276	3,622

Bei der Berechnung dieser Tafeln wurde stillschweigend angenommen, daß die Dämpfe sich bis zum Maximum der Spannkraft vollkommen eben so verhalten wie die Gase und also auch gerade so dem Mariotte'schen Gesetze folgen.

Wenn gesättigter Wasserdampf von 100°, also Wasserdampf, welcher auf die Gefäßwände einen Druck von 760^{mm} ausübt, nicht mehr mit Wasser in Berührung ist und nun noch stärker erwärmt wird, so wird, wenn eine Vergrößerung des Volumens nicht erfolgen kann, der Druck gegen die Gefäßwände zunehmen müssen. Gesetzt, man habe die Temperatur bis auf 121,4° erhöht, so wird, wenn sich der nicht gesättigte Dampf gerade so verhält wie Luft, der Druck im Verhältniß von $1 + 100\,\alpha$ zu $1 + 121{,}4\,\alpha$ zunehmen, wo α wieder den Ausdehnungscoëfficienten der Luft bedeutet; der Druck wird also seyn $760\,\frac{1 + 121{,}4\,\alpha}{1 + 100\,\alpha} = 760\,\frac{1{,}455}{1{,}375} = 804^{mm}$.

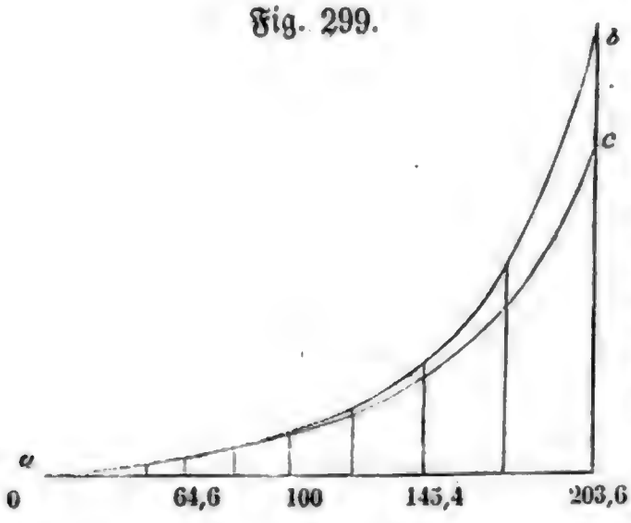
Wenn also gesättigter Wasserdampf von 100°, ohne daß sich seine Dichtigkeit ändert, bis auf 121,4° erwärmt wird, so steigt die Spannkraft von 760^{mm} bis auf 804^{mm}. Nun aber ersehen wir aus der Tabelle, daß der gesättigte Dampf von 121,4° einen Druck von 2 Atmosphären, also 1520^{mm} ausübt. Wenn aber der Wasserdampf, dessen Dichtigkeit 0,0005895 ist, bei 121,4° einen Druck von 804^{mm} ausübt, so kann man, vorausgesetzt, daß der Wasserdampf bis zum Punkte seiner Sättigung dem Mariotte'schen Gesetze folgt, berechnen, in welchem Verhältniß man den Wasserdampf comprimiren muß, wenn es bei unveränderter Temperatur von 121,4° statt eines Druckes von 804^{mm} einen Druck von 1520^{mm} ausüben soll. Wenn der Druck $\frac{1520}{804}$ mal größer werden soll, so muß auch die Dichtigkeit $\frac{1520}{804}$ mal so groß werden, die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfs von 121,4° ist demnach $0{,}0005895\,.\,\frac{1520}{804}$.

Nach derselben Schlußweise ist die Formel Seite 332 construirt. Wenn der gesättigte Wasserdampf von 100°, dessen Dichtigkeit d seyn mag, auf t° erwärmt wird, ohne daß seine Dichtigkeit sich ändert, so wird die Spannkraft gleich $760\,\frac{1 + \alpha\,.\,t}{1 + \alpha\,.\,100}$. Wenn aber die Spannkraft nicht diese, sondern p seyn soll, so muß die Dichtigkeit im Verhältniß von $760\,\frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha\,.\,100}$ zu p wachsen, die Dichtigkeit muß also werden

$$d\,.\,\frac{p}{760}\,.\,\frac{1 + \alpha t}{1 + 100\,\alpha} = d\,.\,\frac{p}{760}\,.\,\frac{1 + 100\,\alpha}{1 + \alpha t}\,.$$

Wie wir gesehen haben, stellt die obere der beiden Kurven in Fig. 299 das Gesetz dar, nach welchem die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfs mit der Temperatur steigt; eben so stellt die untere Kurve das Gesetz dar, welches zwischen der Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfs und der Temperatur Statt findet. Die im Abscissenpunkt 100 errichtete Ordinate gehört beiden Kurven gemeinschaftlich an, für die obere Kurve repräsentirt sie den Druck einer Atmosphäre, für die untere die Dichtigkeit 0,0005895. Man sieht, daß bei wachsender Temperatur die Dichtigkeit minder rasch wächst als die Spannkraft. Es ist dies natürlich, weil ja die vermehrte Dichtigkeit nicht die einzige Ursache der vermehrten Spannkraft des gesättigten Wasserdampfs bei höherer Temperatur ist.

Fig. 299.



Aus der Betrachtung obiger Tafeln und der Fig. 299 sieht man, wie rasch bei steigender Temperatur die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfs steigt; bei fortwährender Temperaturerhöhung muß man also zu einem Punkte kommen, wo die Dichtigkeit des Dampfes fast so groß ist wie die des Wassers. Dies ist auch durch die merkwürdigen Versuche von Cagniard de La Tour bestätigt worden. Eine sehr starke Glasröhre wurde bis zu $\frac{1}{4}$ ihres Inhalts mit Wasser gefüllt und, nachdem alle Luft ausgetrieben war, zugeschmolzen. Wenn nun solche Röhren einer immer steigenden Temperatur ausgesetzt wurden, so schien zuletzt alles Wasser verschwunden, die Röhre schien leer zu seyn. Sobald die Temperatur etwas sank, erschien die Flüssigkeit wieder. Auf diese Weise könnte man das Wasser abwechselnd verschwinden und wieder erscheinen machen, wenn man nicht bei der Wiederholung des Versuchs gefährliche Explosionen befürchten müßte.

Bei einer Temperatur, welche dem Schmelzpunkte des Zinks nahe liegt, nimmt der gesättigte Wasserdampf einen ungefähr viermal so großen Raum ein als im flüssigen Zustande; er greift dabei das Glas an und nimmt ihm durch theilweise Auflösung seiner Elemente seine Durchsichtigkeit. Dem zufolge müßte ungefähr bei der Temperatur der Rothglühhitze die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfs der des Wassers selbst gleich seyn.

133 **Dichtigkeit der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten.** Der Apparat, welcher von Gay-Lussac zur Bestimmung der Dichtigkeit der Wasserdämpfe angewendet wurde, ist auch noch für einige andre Flüssigkeiten an-

wendbar, er kann jedoch nicht in allen Fällen gebraucht werden. Ein andres Verfahren hat Dumas angegeben, es wird in chemiſchen Laboratorien faſt durchgängig angewandt, um die Dichtigkeit von Dämpfen zu beſtimmen. In einen Ballon, welcher in eine feine Spitze ausgezogen iſt (Fig. 299), bringt man eine hinreichende Menge der zu unterſuchenden Flüſ-

Fig. 299.

Fig. 300.

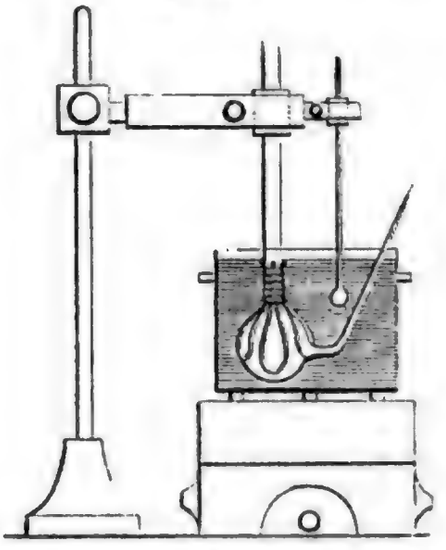


Fig. 301.

ſigkeit. Der Ballon wird nun, je nachdem der Siedepunkt der Flüſſigkeit höher oder tiefer liegt, in einem Bade von Waſſer, Oel oder Chlorzink erhitzt. Der Ballon wird an einem Fig. 301 abgebildeten Halter befeſtigt und durch dieſen im Bade Fig. 300 feſtgehalten. Durch Erhitzung des Bades bringt man die Flüſſigkeit bald in's Kochen, die Dämpfe ſtrömen mit Gewalt aus der feinen Spitze hervor. Man erhält das Bad unterdeſſen auf einer Temperatur, welche die des Siedepunkts der Flüſſigkeit im Ballon ungefähr um 30^0 überſteigt. Die Temperatur des Bades wird an einem Thermometer abgeleſen, welches auf die Fig. 301 dargeſtellte Weiſe befeſtigt iſt. Sobald alle Flüſſigkeit verdampft iſt, was man daran ſieht, daß das Ausſtrömen des Dampfes aus der feinen Spitze aufhört, ſchmilzt man dieſe vor dem Löthrohre zu. In dem Augenblicke des Zuſchmelzens notirt man ſich den Stand des Thermometers im Bade und den Barometerſtand.

Der nun mit Dampf gefüllte Ballon wird gewogen, nachdem man früher ſchon denſelben, mit trockner Luft gefüllt, gewogen hatte. Die Differenz dieſer beiden Wägungen, die wir mit P bezeichnen wollen, giebt an, wie viel der im Ballon enthaltene Dampf mehr wiegt als die trockne Luft, die ihn vorher füllte. Das Gewicht dieſer Luftmenge aber kann man berechnen, wenn man das Volumen V des Ballons kennt. Es iſt nämlich Vn, wenn n das Gewicht von 1 Kubikcentimeter trockner Luft für die Temperatur und den Barometerſtand bezeichnet, bei welchen die erſte Wägung vorgenommen wurde, V aber in Kub.-Cent. ausgedrückt iſt. Das Gewicht des Dampfes im Ballon iſt demnach $P + Vn$.

Um aber die Dichtigkeit des Dampfes zu erhalten, muß man ſein abſolutes Gewicht durch das Gewicht eines gleichen Volumens Luft von gleicher Temperatur und gleicher Tenſion dividiren. Bezeichnen wir mit n' das Gewicht von 1 Kub.=Cent. trockner Luft für die Temperatur und den Barometerſtand, welche man im Augenblicke des Zuſchmelzens der Spitze ablas, ſo iſt Vn' das Gewicht einer Luftmenge von dem Volumen, der Temperatur und der Tenſion, welche der Dampf im Ballon in dem Augenblicke hatte, in welchem die Spitze zugeſchmolzen wurde. Das ſpecifiſche Gewicht des Dampfes iſt demnach

$$s = \frac{P + Vn}{Vn'}$$

wenn das der Luft gleich 1 geſetzt wird.

Um das Volumen des Ballons zu beſtimmen, taucht man die zugeſchmolzene Spitze des Ballons in Waſſer oder Queckſilber und bricht ſie dann ab. Da ſich die Dämpfe während des Erkaltens verdichtet haben, ſo iſt im Ballon ein Vacuum entſtanden, er wird ſich alſo mit Waſſer oder Queckſilber füllen. Die Menge der Flüſſigkeit, welche der Ballon faßt, kann man durch Wägung oder durch Meſſung in graduirten Röhren, und ſomit auch das Volumen des Ballons ermitteln.

Die folgende Tabelle enthält die Dichtigkeit einiger Dämpfe.

Dampf von	Beobachtete Dichtigkeit.	Gewicht von 1 Liter bei 0° u. einem Druck von 760mm in Grammen.	Namen der Beobachter.
Zinnchlorid . . .	9,200	11,051	Dumas.
Jod	8,716	10,323	»
Titanchlorid . . .	6,856	8,881	»
Queckſilber . . .	6,976	9,062	»
Arſenikchlorür . .	6,301	8,185	»
Chlorkieſel . . .	5,939	7,715	»
Jodwaſſerſtoffäther .	5,475	7,112	Gay=Luſſac.
Terpentinöl . . .	5,013	6,512	»
Phosphorchlorür . .	4,875	6,353	Dumas.
Arſenikwaſſerſtoff .	2,695	3,502	»
Schwefelkohlenſtoff .	2,645	3,436	Gay=Luſſac.
Schwefeläther . .	2,586	3,395	»
Salzſäureäther . .	2,219	2,883	Thénard.
Alkohol	1,613	2,096	Gay=Luſſac.
Blauſäure	0,948	1,231	»
Waſſer	0,623	0,810	»

In Beziehung auf die dritte Columne dieser Tafel ist noch eine Erläuterung nöthig. Sie führt die Ueberschrift »Gewicht von 1 Liter bei 0^0 und einem Druck von 760^{mm} in Grammen«. Diese Ueberschrift enthält aber einen Widerspruch, denn da der Siedepunkt aller dieser Flüssigkeiten über 0^0 liegt, so kann die Spannkraft aller dieser Dämpfe bei 0^0 gar nicht 760^{mm} betragen. Diese Columne ist aber so zu verstehen, daß sie das Gewicht von 1 Liter angiebt, wie es seyn würde, wenn man den gesättigten Dampf von 760^0 Spannkraft ohne Veränderung des Druckes auf 0^0 erkalten könnte, ohne daß ein Theil der Dämpfe sich als Flüssigkeit ausscheidet, kurz wenn der Dampf bei dieser Erkaltung auf 0^0 sich gerade wie ein permanentes Gas verhielt.

Die Dichtigkeit der gesättigten Dämpfe aller Flüssigkeiten wächst mit der Temperatur. Es folgt daraus, daß bei hinlänglich gesteigerter Temperatur eine jede Flüssigkeit in einem Raume verdampfe, welcher kaum größer ist als der, welchen die Flüssigkeit zuvor selbst einnahm. Cagniard de La Tour hat in dieser Beziehung Versuche mit Weingeist, Aether und Schwefelkohlenstoff gemacht. Der Apparat, dessen er sich zu diesen Versuchen bediente, ist der Fig. 302 abgebildete. Der längere Schenkel sowohl wie der kürzere waren oben zugeschmolzen. Im längern befand sich über dem Queckſilber trockne Luft, im kürzeren die Flüssigkeit. Der Durchmesser des längern Schenkels betrug nur 1^{mm}, der des kürzern 5^{mm}. Die Glaswände waren sehr dick, so daß sie einen starken Druck aushalten konnten. Die Spannkraft der Dämpfe, welche sich bei der Erwärmung im kürzeren Schenkel bildeten, wurde durch die Differenz der Queckſilberkuppen und die Compression der Luft im längern Schenkel bestimmt. Beim Versuche wurde der untere Theil des Apparates in ein Oelbad gesenkt.

Fig. 302

Das völlige Verschwinden der Flüssigkeit erfolgte unter folgenden Umständen.

	Temperatur des Verschwindens.	Volumen des Dampfs im Vergleich zu dem der Flüssigkeit.	Spannkraft der Dämpfe in Atmosphären.
Alkohol	259	3	119
Aether	200	2	37
Schwefelkohlenstoff . .	275	2	78

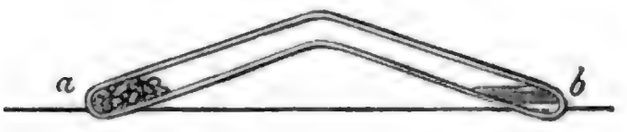
Diese Versuche beweisen unwiderleglich, daß die Dämpfe bei einer starken Verdichtung nicht mehr dem Mariotte'schen Gesetze folgen, wie wir dies bei der Berechnung der Tabellen auf S. 333 u. 334 angenommen hatten. Aus der Tabelle auf Seite 338 sehen wir, daß 1 Liter Aetherdampf bei einer Tension von einer Atmosphäre 3,39 Gramm wiegt. Nach den Versuchen von Cagniard de La Tour hat der gesättigte Aetherdampf bei 200° eine Tension von 37 Atmosphären; wenn also der Aetherdampf stets dem Mariotte'schen Gesetze folgte, so dürfte bei dieser Temperatur seine Dichtigkeit nicht ganz bis auf das 37fache gestiegen seyn; 1 Liter Aetherdampf von einer Spannkraft von 37 Atmosphären könnte demnach nicht mehr als $37 \times 3{,}39$, also nicht mehr als 125 Gramm wiegen. Wir sehen aber, daß der gesättigte Aetherdampf von 200° halb so dicht ist als der Aether selbst, 1 Liter dieses Dampfes wiegt also 358 Gramm, da 1 Liter Aether 715,5 Gramm wiegt. Die Dichtigkeit ist also fast dreimal so groß, als man hätte erwarten sollen. Aetherdampf von der bei 200° beobachteten Dichtigkeit müßte nach dem Mariotte'schen Gesetze eine Spannkraft von 3×37 Atmosphären haben.

Wenn man auch zugiebt, daß die Versuche von Cagniard de La Tour nicht ganz genau sind, so sind doch diese Differenzen so außerordentlich groß, daß man sie unmöglich Beobachtungsfehlern zuschreiben kann.

134 **Condensation der Dämpfe und Flüssigmachen der Gase.** Die Dämpfe verdichten sich durch Druck und Erkaltung. Nur dann kann ein Dampf comprimirt oder erkaltet werden, ohne daß er sich theilweise in Flüssigkeit verwandelt, wenn er nicht gesättigt ist. Man hat schon lange vermuthet, daß die sogenannten permanenten Gase sich nur dadurch von den Dämpfen unterscheiden, daß sie noch weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt sind. Es ist zuerst H. Davy und Faraday gelungen, solche Gase zu condensiren, welche man bis dahin für permanent gehalten hatte. Das Verfahren, dessen sie sich bedienten, bestand darin, die Gase in einer gebogenen starken vollkommen verschlossenen Glasröhre zu entwickeln. Die Gase condensiren sich dann durch ihren eignen Druck. Ein Beispiel wird dies klar machen.

Man fülle in eine starke Glasröhre etwas Cyanqueckſilber, schmelze die Röhre zu und biege sie, wie Fig. 303 zeigt. Wenn man nun das Ende

Fig. 303.



a dieser Röhre, wo sich das Cyanqueckſilber befindet, mittelst einer Spirituslampe vorsichtig erwärmt, so bildet sich Cyangas, welches sich bei *b* verdichtet, wenn man dieses Ende der Röhre in eine Kältemischung taucht.

Um Schwefelwaſſerſtoffgas zu verdichten, füllt man ein ſtarkes Glasrohr ungefähr bis auf ⅓ ſeines Inhalts mit Waſſerſtoffſchwefel, einer gelblichen ölartigen Flüſſigkeit, und ſchmilzt es dann vor dem Löthrohre zu. Die Flüſſigkeit zerſetzt ſich nach und nach von ſelbſt in Schwefel, welcher in ſchönen durchſichtigen Kryſtallen ſich ausſcheidet, und Schwefelwaſſerſtoffgas, welches, weil es nicht entweichen kann, durch ſeinen eigenen Druck condenſirt wird und als eine klare waſſerhelle Flüſſigkeit über den Schwefelkryſtallen ſchwimmt.

Auch ſchweflige Säure, Chlor, Ammoniak, Salzſäure, Kohlenſäure, ſalpetrige Säure hat man durch ähnliche Verfahrungsarten flüſſig gemacht. Alle andern Gaſe hat man bisher vergebens zu condenſiren verſucht, es iſt jedoch zu erwarten, daß auch ſie fähig ſind flüſſig zu werden, wenn man es nur dahin bringen kann, eine hinreichende Temperaturerniedrigung und einen hinreichenden Druck zu erzeugen.

Nach den Verſuchen von Thilorier hat der Dampf der flüſſigen Kohlenſäure bei 0° eine Spannkraft von 36, bei 30° aber ſchon eine Spannkraft von 73 Atmoſphären.

Thilorier hat zuerſt einen Apparat conſtruirt um eine ziemlich bedeutende Menge Kohlenſäure zu condenſiren; die Anwendung deſſelben iſt aber gefährlich, indem er nicht die nöthigen Garantieen gegen Exploſionen bietet; und in der That ſind ſchon mehrere Unglücke durch Platzen des Thilorier'ſchen Apparates entſtanden. Natterer in Wien hat aber nun einen ſehr zweckmäßigen, ganz ſichern Apparat zur Verdichtung der Kohlenſäure, welcher in Fig. 304 (auf folgender Seite) abgebildet iſt, conſtruirt; *l* iſt ein Rohr, welches dem zur Ladung einer Windbüchſe dienenden Rohre der Fig. 180 auf S. 151 Bd. I. entſpricht. Während das Rohr, Fig. 180, zwei Oeffnungen hat, welche das Innere des Rohrs mit der äußeren Luft verbinden, iſt hier unten nur eine Oeffnung, an welche ſich ein Schlauch *s* anſetzt, der zu einem mit Kohlenſäure gefüllten Gaſometer führt. In unſerer Figur iſt nun dieſer Schlauch, aber nicht das Gaſometer dargeſtellt. Man kann ein Gaſometer von der Form Fig. 275 Bd. I., oder auch ein ſolches anwenden, welches nach dem Princip der Fig. 276 conſtruirt iſt, d. h. ein ſolches, welches aus einem Waſſerreſervoir von Blech beſteht, in welches ein unten offenes, oben geſchloſſenes Gefäß herabhängt; durch eine Röhre wird das Glas zu-, durch eine andere wird es abgeführt. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß zwiſchen das Gaſometer und den Verdichtungsapparat eine Chlorcaliumröhre eingeſchaltet werden muß, damit das Gas von Waſſerdampf befreit wird.

Oben iſt an den Lauf *l* eine ſtarke Flaſche *r* von Schmiedeeiſen aufgeſchraubt, welche dem Windbüchſenkolben, Fig. 180, entſpricht und auch ähnlich eingerichtet iſt; da wo ſie auf die Röhre aufgeſchraubt wird, befin-

det ſich nämlich ein Ventil, welches ſich nach innen öffnet und nach außen ſchließt. Der obere Theil dieſe Flaſche, welche auf 150 Atmoſphären Druck geprüft iſt, iſt in Fig. 305 in größerem Maaßſtab dargeſtellt. Oben iſt

Fig. 304.

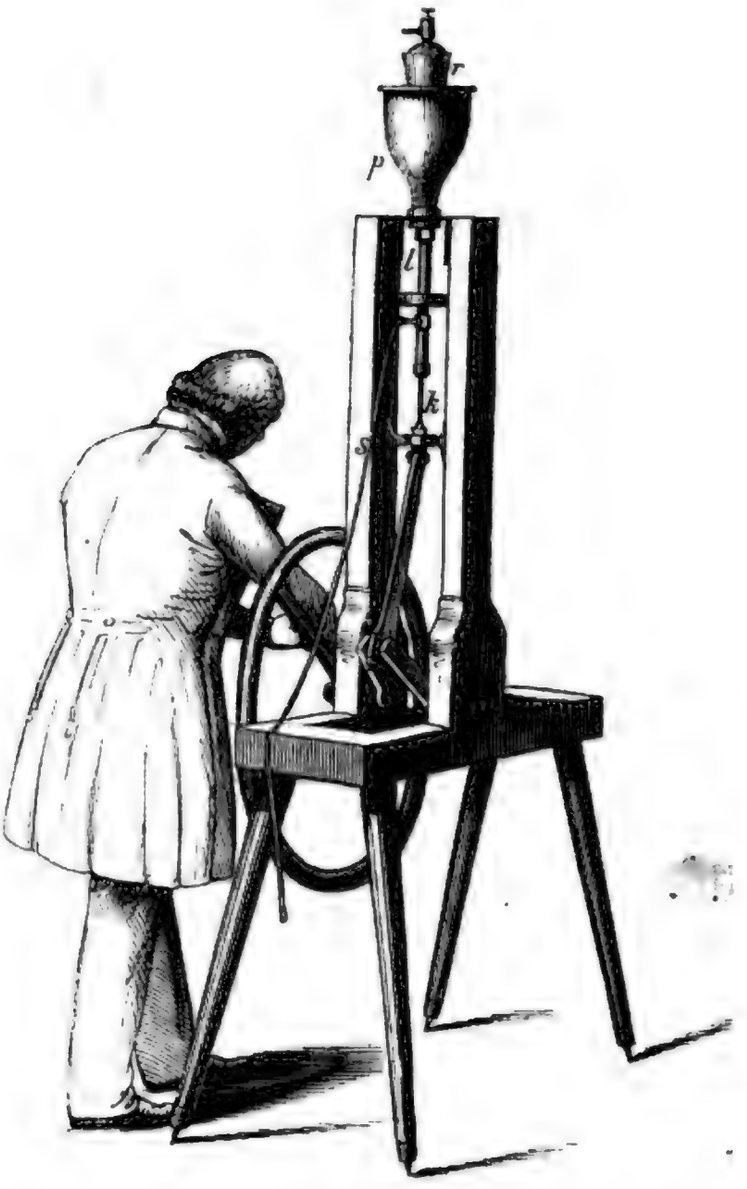


Fig. 305

ein eiſerner Aufſatz g angeſetzt, in welchen eine horizontale meſſingene Röhre n mit feiner Oeffnung mündet. g iſt in der Mitte durchbohrt, ſo daß, wenn man die Schraube t bis zu einer gewiſſen Gränze in die Höhe ſchraubt, das Gas aus der Flaſche durch g und das Rohr n ausſtrömen kann; wenn aber t heruntergeſchraubt wird, ſo iſt die Ausflußöffnung verſchloſſen. Der untere Theil der Flaſche r iſt, wie man Fig. 304 ſieht, mit einem Kupfergefäß p umgeben, welches mit Eisſtücken und Salz gefüllt wird, um diegehörige Abkühlungzu bewirken.

Das Einpumpen des Gaſes in die Flaſche geſchieht mit Hülfe einer Kurbel und eines Schwungrades. Die Kolbenſtange k iſt unten an einem meſſingenen Querſtücke befeſtigt, welches in Couliſſen läuft, die auf beiden Seiten am Geſtell angebracht ſind und wodurch die vertikale Bewegung der Kolbenſtange geſichert iſt. Die Art der Bewegung und die Fortpflanzung der Bewegung iſt aus der Figur erſichtlich.

Vor dem Beginn des Verſuchs wird das Gewicht des Recipienten beſtimmt. Nachdem er aufgeſchraubt iſt, werden 20 bis 30 Umdrehungen gemacht,

worauf man das Gas mit der im Recipienten befindlichen atmosphärischen Luft durch den geöffneten Hahn entweichen läßt; hierauf wird der Hahn wieder geschlossen, und nun beginnt eigentlich erst das Comprimiren. So oft man 2 bis 3 Kubikfuß Kohlensäure eingepumpt hat, wird der Recipient wieder gewogen und die Operation so lange fortgesetzt, bis die Gewichtszunahme des Recipienten ungefähr 450 Gramm beträgt, wo dann ungefähr $^2/_3$ des Recipienten mit flüssiger Kohlensäure gefüllt sind.

Man kann in diesem Apparat die Kohlensäure im flüssigen Zustande nicht sehen; wie sie aber in feste Kohlensäure verwandelt wird, ist weiter unten gezeigt.

Auch Stickstoffoxydulgas läßt sich in diesem Apparate verdichten.

Die Ausdehnung der flüssigen Kohlensäure bietet eine merkwürdige Erscheinung dar, sie ist nämlich 4mal so groß als die der Luft; während sich die Luft bei einer Temperaturerhöhung von 0^0 bis 30^0 um 0,109 ihres Volumens ausdehnt, dehnt sich die flüssige Kohlensäure unter gleichen Umständen um 0,423 ihres Volumens aus. Es folgt daraus, daß das specifische Gewicht der flüssigen Kohlensäure bei verschiedenen Temperaturen sehr ungleich sey, es ist

bei	$-\ 20^0$	0,90
	0^0	0,83
	$+\ 30^0$	0,60,

die Dichtigkeit des Wassers gleich 1 gesetzt.

Drittes Kapitel.

Von der Mischung der Dämpfe mit Gasen.

Flüssigkeiten, welche sich nicht chemisch mit einander verbinden, können 135
wohl auf einige Augenblicke gemengt seyn; bald aber trennen sie sich, sie lagern sich nach der Ordnung ihrer Dichtigkeit über einander, wie z. B. das Oel auf dem Wasser schwimmt. Wenn sich die Gase und Dämpfe ähnlich verhielten, so würde sich auf unserer Erdoberfläche Alles ändern müssen; die Dämpfe z. B., welche sich auf der Oberfläche der Gewässer bilden, würden ihres geringeren specifischen Gewichtes wegen aufsteigen und so bis zu den äußersten Grenzen der Atmosphäre getrieben werden. Bei der immer fortdauernden Verdunstung würden zuletzt alle Seen und Meere austrocknen, und alles Wasser der Erde würde als Wasserdampf über der Atmosphäre schweben.

Man sieht also, daß die gasförmigen Körper bei ihrer Mischung nicht

denselben Gesetzen folgen können wie die Flüssigkeiten, daß sie sich nämlich nicht nach ihrem specifischen Gewichte schichten.

Diese Fundamentalwahrheit ist durch einen directen Versuch außer Zweifel gesetzt worden. Berthollet verband zwei Ballons, von denen der eine mit Wasserstoffgas, der andere mit Kohlensäuregas gefüllt war, durch eine Röhre, die mittelst eines Hahns gesperrt werden konnte. Nachdem der Apparat so aufgestellt war, daß der mit dem leichteren Wasserstoffgas gefüllte Ballon über dem andern stand, wurde der Hahn geöffnet. Nach einiger Zeit hatte sich die Hälfte des Wasserstoffgases trotz seiner Leichtigkeit in dem untern Ballon verbreitet, während die Hälfte des Kohlensäuregases in den obern Ballon hinaufgestiegen war.

Fig. 306.

Man kann den Versuch am einfachsten anstellen, wenn man zwei Glasgefäße, von denen das eine *a* mit Wasserstoffgas, das andere *e* mit Kohlensäure gefüllt ist, auf die Weise verbindet, wie man Fig. 306 sieht. Nach einiger Zeit findet man die Gase auf die angegebene Weise gemischt. Jedes Gas verbreitet sich also gleichförmig in dem ganzen Raume gerade so, als ob das andere gar nicht da wäre.

Was für die Mischung zweier Gase gilt, gilt auch für mehrere. Das allgemeine Princip, nach welchem die Mischung gasförmiger Körper vor sich geht, ist folgendes: Wenn man in einen und denselben Raum verschiedene Gase bringt, welche keine chemische Wirkung auf einander ausüben, so verbreitet sich jedes gleichförmig durch den ganzen Raum; die Spannkraft des Gasgemenges aber ist gleich der Summe der Spannkräfte, welche jedes einzelne Gas haben würde, wenn es für sich allein den ganzen Raum ausfüllte.

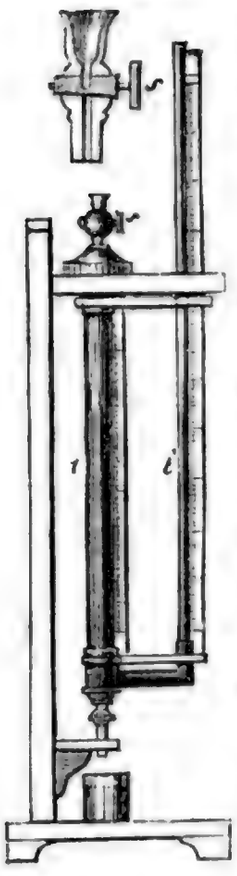
136 Dämpfe verhalten sich in dieser Beziehung vollkommen ebenso wie Gase; und wenn in einen mit Gas gefüllten Raum eine Flüssigkeit gebracht wird, so bilden sich in diesem Raume gerade ebenso viel Dämpfe, als ob der Raum vollkommen leer wäre; die Spannkraft ist also die Summe der Spannkraft des Gases und der Spannkraft des gesättigten Dampfes. Ein Beispiel mag dies deutlicher machen. Gesetzt, man brächte etwas Wasser in einen Raum von 1700 Kub.-Cent., der schon Luft von 100° und einer Tension von 760^{mm} enthält, so wird in diesem Raume 1 Gramm Wasser verdampfen, also gerade so viel, als ob der Raum vollkommen luftleer gewesen wäre. Die Spannkraft dieses Gemenges von Luft und Wasserdampf aber ist die Summe der Spannkraft der Luft, 760^{mm} und der Spannkraft des gesättigten Wasserdampfs von 100°, welche ebenso groß ist, sie ist also gleich dem Drucke von zwei Atmosphären.

Fig. 307.

Es läßt sich dies durch den Versuch auf folgende Art nachweisen. Man fülle eine toricellische Röhre auf dieselbe Weise, wie dies Bd. I. S. 132 angegeben ist, und tauche sie ebenso in das Quecksilber des Gefäßes *c n*, als ob man den dort beschriebenen Versuch anstellen wollte. Gesetzt, man habe beim Füllen der Röhre 5^{cm} frei gelassen; nachdem man die Röhre umgekehrt und den Finger weggezogen hat, habe sich die Luft auf einen 5fachen Raum ausgedehnt, so daß die Luft im obern Theile der Röhre eine Länge von 25^{cm} einnimmt, so wird ihre Tension $\frac{1}{5}$ des Barometerstandes, also 152^{mm} seyn, wenn der Barometerstand 760^{mm} ist; die Höhe der Quecksilbersäule im toricellischen Rohre muß demnach noch eine Höhe von 608^{mm} haben. Nun bringe man auf die, Seite 315 angegebene Weise etwas Schwefeläther in den oberen Theil der Röhre, so sinkt die Quecksilbersäule noch tiefer. Durch Niederdrücken der ganzen Röhre kann man es nun leicht dahin bringen, daß der obere, nicht mit Quecksilber angefüllte Raum der Röhre wieder gerade so groß ist als vor dem Eindringen des Aethers, daß er also für unsern Fall wieder 25^{cm} beträgt. Nun ist die Luft noch in demselben Raume verbreitet wie vorher, allein in diesem Raume befindet sich jetzt außer der Luft noch Aetherdampf, und zwar gerade so viel, als ob gar keine Luft da wäre. Die Spannkraft des Gemenges von Luft- und Aetherdampf muß also gleich seyn der Summe der Spannkraft der schon vorher vorhandenen Luft, für unsern Fall 152^{mm} + der Spannkraft des gesättigten Aetherdampfs für die herrschende Temperatur. Diese Temperatur sey 15^0. Die Tension des gesättigten Aetherdampfs für 15^0 ist 330^{mm}; die Summe der Spannkräfte der Luft und des Aetherdampfs ist also $152 + 330 = 482^{mm}$. Die Depression der Quecksilbersäule muß demnach 482^{mm} betragen, die Höhe der Quecksilberkuppe über dem Niveau in *c n* muß demnach noch $760 - 482 = 278^{mm}$ seyn, was der Versuch auch vollkommen bestätigt.

Diese Art des Versuchs ist jedoch nur für Luft von geringer Tension beweisend; daß sich aber auch in einem Raume, welcher mit Luft von atmosphärischer Dichtigkeit gefüllt ist, vollkommen ebenso viel Dampf bildet, als ob der Raum leer wäre, läßt sich mit dem Apparate Fig. 308 zeigen. *t* ist eine weite graduirte Glasröhre, welche oben und unten mit einem eisernen Hahn versehen ist. Der obere Hahn *s* ist nicht ganz durchgebohrt, sondern er enthält nur eine Höhlung, wie beistehende Figur zeigt.

Fig. 308.



Am untern Ende iſt die Röhre *t* mit einer engeren und längeren *t'* verbunden. Man kann den oberen Hahn abſchrauben, um einen Strom trockner Luft durch den Apparat ſtreichen zu laſſen. Iſt dies geſchehen, ſo gießt man Queckſilber in den offenen Schenkel *t'* ein und ſchraubt den Hahn *s* wieder auf. Die in der Röhre *t* abgeſperrte Luft ſteht nun genau unter dem Drucke einer Atmoſphäre, weil die Queckſilberſpiegel in beiden Röhren in gleicher Höhe liegen. Nun wird eine Flüſſigkeit, etwa Weingeiſt, in den Hahn *s* gegoſſen, und man dreht ihn immer nach derſelben Richtung um. Bei jeder Umdrehung wird ein Tropfen der Flüſſigkeit in die Röhre *t* gebracht. Alsbald bilden ſich Dämpfe, das Queckſilber in *t* ſinkt und ſteigt dagegen in *t'*. Die Dämpfe bilden ſich freilich langſamer als im leeren Raume; nach kurzer Zeit aber haben ſie das Maximum der Spannkraft erreicht, welches dem Maximum der Spannkraft gleich iſt, deſſen die Dämpfe im leeren Raume bei derſelben Temperatur fähig ſind. In der That, wenn man von neuem Queckſilber in den offenen Schenkel *t'* gießt, ſo kann man es leicht dahin bringen, daß das Gemiſch von Gas und Dampf denſelben Raum einnimmt, den vorher die Luft allein einnahm. Nun aber ſteht das Queckſilber in der Röhre *t'* höher, und man findet, daß die Höhe der Queckſilberſäule in *t'* über dem Niveau in *t* genau der Spannkraft des geſättigten Dampfes für die herrſchende Temperatur gleich iſt. In dem mit Luft gefüllten Raume hat ſich alſo gerade eben ſo viel Dampf gebildet, als ſich bei gleicher Temperatur in einem eben ſo großen, aber abſolut leeren Raume hätte bilden können.

Daſſelbe bleibt auch noch wahr, wenn man das Gemenge von Luft und Gas einem noch ſtärkern Drucke ausſetzt, indem man neue Mengen Queckſilber in den längern Schenkel eingießt; oder wenn der Druck geringer wird, was man dadurch bewerkſtelligen kann, daß man den untern Hahn öffnet, um etwas Queckſilber austreten zu laſſen. In allen Fällen ſieht man, wenn man die Veränderungen, welche das Volumen der Luft erleidet, gehörig in Rechnung bringt, daß die Spannkraft des Gemenges der Summe der Spannkräfte der Luft und des Dampfes gleich iſt.

Der Dampf, welcher mit einem andern Gaſe gemengt iſt, kann gerade ſo wie der Dampf, welcher für ſich allein in einem ſonſt leeren Raume beſteht, durch zwei Urſachen verdichtet werden, nämlich durch einen vermehrten Druck und durch Erniedrigung der Temperatur. Unſere atmoſphäriſche Luft enthält immer Waſſerdampf. Denken wir uns ein Liter

solcher Luft bei einer Temperatur von 20^0, welche so viel Wasserdampf enthält, daß er für sich allein eine Tension von 10^{mm} ausübt, oder, was dasselbe ist, nehmen wir an, daß in diesem Liter Luft 0,00974 Gr. Wasserdampf enthalten seyen, so ist der Raum noch nicht mit Wasserdampf gesättigt, denn nach der Tabelle Seite 332 ist die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfs von $20^0 = 0{,}0000172$; in dem Liter Luft könnten also bei dieser Temperatur 0,0172 Gr. Wasserdampf vorhanden seyn. Wenn man aber dies Gemenge von Luft und Gas comprimirt, so wird die Tension des Wasserdampfes eben so gut wie die der Luft vermehrt, sie wird für beide in gleichem Verhältniß zunehmen, bis der Wasserdampf sein Maximum der Spannkraft erreicht hat. Wenn man noch weiter comprimirt, so condensirt sich ein Theil des Dampfes und setzt sich in Form von Thau an den Gefäßwänden ab. Hätte man dasselbe Liter Luft nicht comprimirt, aber erkaltet, so würde sich der Dampf ebenfalls verdichtet haben, und zwar würde der feuchte Niederschlag in unserm Beispiele bei einer Temperatur von 11^0 erfolgt seyn.

Indem man diese Folgerungen allgemein macht, sieht man, daß in einem gegebenen Raume, einem Liter z. B., eine beliebige Anzahl gasförmiger Körper eingeschlossen werden kann, von denen sich jeder gleichförmig im ganzen Raume verbreitet; der Drucke, den sie ausüben, ist aber stets der Summe der Spannkräfte gleich, welche jedes der Gase für sich allein ausüben würde, wenn die andern Gase gar nicht in dem Raume vorhanden wären.

Die Verwandlung der Flüssigkeiten in gasförmige Körper nennt man 137
im Allgemeinen Verdampfung. Die Flüssigkeiten verdampfen entweder durch das Kochen, wenn sich durch die ganze Masse der Flüssigkeit Dämpfe bilden, oder durch Verdunsten, wenn die Dampfbildung bloß an der Oberfläche vor sich geht.

Wenn man das Kochen einer Flüssigkeit beobachtet, sieht man in der Regel nur eine mehr oder minder heftige Bewegung aller Theilchen, wenn man aber die Flüssigkeit in einem gläsernen Gefäße kochen läßt, so sieht man die Dampfblasen, welche sich an den wärmeren Gefäßwänden bilden und in die Höhe steigen. Anfangs klein nehmen sie an Volumen zu, je mehr sie steigen. An den heißesten Stellen der Wand folgen die Blasen am schnellsten auf einander. Damit sich die Blasen in der Flüssigkeit bilden können, welche doch von allen Seiten einen Druck auf sie ausübt, muß der Dampf, welcher die Blasen bildet, offenbar eine Spannkraft haben, welche dem Drucke der Umgebung das Gleichgewicht hält. Die erste Bedingung des Kochens ist also, daß die Temperatur hoch genug ist, daß die Spannkraft der Dämpfe den von allen Seiten auf die zu bildenden Dampfblasen wirkenden Druck aushalten kann. Eine zweite Bedingung ist die, daß

genug Wärme vorhanden ſey, welche bei der Dampfbildung als latente Wärme abſorbirt wird.

Aus der erſten Bedingung folgt, daß der Siedepunkt einer Flüſſigkeit mit dem auf ihr laſtenden Drucke variirt, aus der zweiten aber, daß die Schnelligkeit des Kochens von der Wärmemenge abhängt, welche in einer gegebenen Zeit durch die Wände hindurch der Flüſſigkeit zugeführt wird.

Am Spiegel des Meeres und unter dem mittleren Drucke von 760^{mm} kocht das reine Waſſer bei 100^{0}; auf dem Gipfel des Montblanc, in einer Höhe von 4775 Metern, wo der Druck der Atmoſphäre nur noch 417^{mm} beträgt, kocht das Waſſer ſchon bei einer Temperatur, bei welcher die Spannkraft des Waſſerdampfs 417^{mm} beträgt, d. h. ungefähr bei 84^{0}. In noch größerer Höhe würde das Waſſer bei noch niedrigerer Temperatur ſieden. Wenn man die Tafel für die Spannkraft der Dämpfe einer Flüſſigkeit hat, ſo kann man leicht die Temperatur des Siedepunktes bei gegebenem Drucke finden, denn es iſt derjenige Temperaturgrad, für welchen die Spannkraft des geſättigten Dampfes jenem Drucke gleich iſt. Umgekehrt kann man eine Flüſſigkeit bei einer gegebenen Temperatur ins Kochen bringen, wenn man nur den Druck hinlänglich vermindert.

Bei einem Drucke von 30^{mm} z. B. iſt die Siedetemperatur des Waſſers 30^{0}, weil bei dieſer Temperatur die Spannkraft des geſättigten Waſſerdampfs 30^{mm} iſt. Unter einem Drucke von 10^{mm} ſiedet das Waſſer bei 11^{0}, unter einem Drucke von 5^{mm} bei 0^{0}.

Die Wahrheit dieſer Folgerungen läßt ſich leicht durch den Verſuch nachweiſen. Man bringt Waſſer von 30^{0} in einem Glasgefäße unter den Recipienten der Luftpumpe. Nach einigen Kolbenzügen zeigt die Barometerprobe nur noch einen Druck von 30^{mm}, und nun beginnt das Kochen mit Heftigkeit gerade ſo, als ob das Waſſer an freier Luft über einem lebhaften Feuer ſtände. Dieſes Sieden hört aber bald auf, weil der Dampf den Recipienten erfüllt und ſelbſt auf die Flüſſigkeit drückt, ein neuer Kolbenzug aber nimmt dieſen Dampf wieder weg und macht, daß das Kochen von Neuem beginnt. Mit unſern Luftpumpen iſt es nicht möglich, das Waſſer bei 0^{0} ins Sieden zu bringen, weil man keine Verdünnung von 5^{mm} hervorbringen kann, indem ſich beſtändig Dampf an der Oberfläche des Waſſers bildet.

Fig. 309.

An dem Fig. 309 abgebildeten Apparate beobachtet man eine noch auffallendere hierher gehörige Erſcheinung. Ein Ballon mit langem Halſe *a* wird zur Hälfte mit Waſſer gefüllt; wenn durch Kochen deſſelben alle Luft ausgetrieben iſt, verſchließt man den Hals

durch einen Kork und kehrt den Ballon um, wie Fig. 309 zeigt. Wenn man ihn sich selbst überläßt, ist kein Sieden zu beobachten; wenn man aber kaltes Wasser auf den obern Theil gießt, so beginnt es auf der Stelle mit großer Heftigkeit. Das kalte Wasser bringt das Wasser im Ballon ins Kochen, weil es den Dampf im obern Theile des Ballons verdichtet und so den auf der Flüssigkeit lastenden Druck vermindert.

Die Variationen des Siedepunktes hat man auch durch directe Versuche an hochgelegenen Orten der Alpen, der Pyrenäen und anderer Gebirge bestätigt.

Das kochende Wasser ist also nicht an allen Orten der Erde gleich warm, und folglich ist es nicht überall gleich tauglich zu häuslichen Zwecken, zur Bereitung der Speisen. In Quito z. B. kocht das Wasser schon bei 90°, und diese Temperatur ist zum Kochen mancher Substanzen zu niedrig, welche eine Temperatur von 100° erfordern.

Die folgende Tabelle enthält die Siedepunkte des Wassers für mehrere bewohnte Orte, deren Höhe wohl bekannt ist.

Namen der Orte.	Höhe über der Meeresfläche in Metern.	Mittlere Höhe des Barometers in Millim.	Siedepunkte in Graden.
Meierei Antisana (Südamerika) .	4101	454	86,3
Mincipampa (Peru)	3618	483	87,9
Quito	2908	527	90,1
Laramaria (Peru)	2860	531	90,3
Santa Fe de Bogoda'	2661	544	90,9
Cuenza (Quito)	2633	546	91,0
Mexico	2270	572	92,3
Hospiz St. Gotthard	2075	586	92,9
Dorf St. Veran (See-Alpen) .	2040	588	93,0
St. Remi	1604	621	94,5
Dorf Gavarni (Pyrenäen) . .	1444	634	95,0
Bareges (Pyrenäen).	1269	648	95,6
Palast St. Ildefonso (Spanien).	1155	657	96,0
Bäder des Mont d'Or (Auvergne)	1040	667	96,5
Madrid	608	704	97,8
Innspruck	566	708	98
München	538	710	98,1

Namen der Orte.	Höhe über der Meeresfläche in Metern.	Mittlere Höhe des Barometers in Millim.	Siedepunkt in Graden.
Salzburg	452	718	98,4
Genf und Freiburg	372	725	98,6
Regensburg	362	726	98,7
Moskau	300	732	99,0
Turin	230	738	99,1
Prag	179	743	99,3
Lyon	162	745	99,4
Wien	133	747	99,5
Bologna	121	749	99,5
Dresden	90	752	99,6
Paris (Observatorium 1ster Stock)	65	754	99,7
Rom (Kapitol)	46	756	99,8
Berlin	40	756	99,8

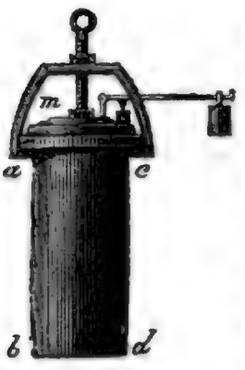
Da der Barometerstand an einem und demselben Orte fortwährend schwankt, so folgt, daß der Siedepunkt in jedem Augenblicke variirt. Zu Paris sind die äußersten Grenzen des Barometerstandes, welche man in 20 Jahren beobachtet hat, 719^{mm} und 781^{mm}. Dem höchsten Stande von 781^{mm} entspricht ein Siedepunkt von $100{,}8^{0}$, dem niedrigsten Barometerstande von 719^{mm} aber ein Siedepunkt von $98{,}5^{0}$. Man begreift wohl, daß bei der Bestimmung des Siedepunktes an den Thermometerscalen der Barometerstand berücksichtigt werden muß.

Wollaston hat ein sehr empfindliches Thermometer construirt, welches nur die Temperaturgrade in der Nähe des Siedepunktes angiebt, mit Hülfe dessen man die Differenz der Siedepunkte des Wassers von einem Stockwerke eines Hauses zum andern nachweisen kann. Die Construction eines solchen Thermometers erfordert viele Sorgfalt, wesentlich aber ist, daß ein Grad der Scala wenigstens eine Länge von 30^{mm} hat.

138 Wenn man den Druck auf die Flüssigkeit vermehrt, so wird dadurch das Kochen verzögert, und man kann es ganz verhindern, wenn man nur den Druck stark genug macht. Es ist dies der Fall bei dem unter dem Namen des Papinianischen Topfes oder des Papinianischen Digestors bekannten Apparate, Fig. 310. In demselben kann man das Wasser bis zu sehr hohen Temperaturen erwärmen, ohne daß es kocht.

Dieser Apparat besteht aus einem cylindrischen Gefäße von Eisen oder besser von Messing oder Kupfer, dessen Wände im Stande sind, einen sehr starken Druck auszuhalten. Eine Oeffnung ist durch ein Sicherheitsventil geschlossen, welches man so stark belasten kann, daß ein Druck von vierzig bis funfzig Atmosphären nöthig ist, um es zu heben. Das Kochen ist unmöglich, weil der Dampf, welcher sich über der Flüssigkeit befindet, nicht entweichen kann und deshalb einen hinlänglich starken Druck ausübt, um es zu verhindern. Sobald man aber das Ventil öffnet, strömt der Dampf mit ungeheurer Stärke hervor, gleichzeitig aber sinkt die Temperatur des Gefäßes, weil es alle die Wärme liefern muß, welche auf einmal bei der heftigen Dampfbildung gebunden wird.

Fig. 310.



Dieser Digestor wurde in der Mitte des 17ten Jahrhundert von Papin, einem in Marburg und Kassel lebenden Gelehrten, erfunden. Er diente zu einer Menge merkwürdiger Versuche, theils um die mechanische Kraft des Dampfes, theils um die auflösende Kraft des über 100° erwärmten Wassers zu zeigen. Mit Erstaunen sah man die Möglichkeit, aus den Knochen eine eben so nahrhafte Substanz auszuziehen wie aus den saftigsten Muskeltheilen.

Wenn man in einem Gefäße Wasser ins Kochen bringt, aus welchem der Dampf nur durch verhältnißmäßig kleine Oeffnungen abziehen kann, so beobachtet man eine Erhöhung des Siedepunktes. Durch eine kleine Oeffnung kann nämlich nur dann aller Dampf, welcher durch die in jedem Moment in die Flüssigkeit übergehende Wärme erzeugt wird, ausströmen, wenn durch die größere Spannkraft des Dampfes eine größere Ausströmungsgeschwindigkeit möglich geworden ist.

In einer flüssigen Masse wirkt auf die Theilchen im Innern nicht allein der Druck, welcher auf der Oberfläche lastet, sondern auch noch das Gewicht einer Flüssigkeitssäule. Hätte man z. B. einen 32 Fuß tiefen mit Wasser gefüllten Kessel, so würde am Boden ein Druck von 2 Atmosphären stattfinden, und hier würden sich also erst bei einer Temperatur von 121,4° Dampfblasen bilden können. Da aber die Temperatur der flüssigen Schichten an der Oberfläche nicht über 100° steigen kann, so wird die Flüssigkeit vom Boden, ihres geringeren specifischen Gewichtes wegen, fortwährend aufsteigen. Weil der Druck mit dem Steigen abnimmt, bilden sich Dampfblasen, ihre Temperatur nimmt aber allmälig von 121° bis 100° ab. Die Dampfblasen, welche sich in der Tiefe bilden, nehmen an Größe um so mehr zu, je höher sie steigen, weil der Druck, welcher auf sie wirkt, immer geringer wird. Diese Erscheinungen beobachtet man

ſelbſt ſchon in kleinen Gefäßen, in welchen das Waſſer nur einige Zoll tief iſt. — Bevor das vollſtändige Kochen beginnt, bilden ſich an dem Boden ſchon Dampfblaſen, welche aber beim Aufſteigen ſich plötzlich wieder verdichten, weil ſie in Waſſerſchichten kommen, deren Temperatur noch zu niedrig iſt. Daher rührt das eigenthümliche Geräuſch, welches man einige Augenblicke vor dem vollſtändigen Kochen wahrnimmt. Wenn man den Verſuch in einem Glaskolben anſtellt, ſo beobachtet man, wie ſich die Blaſen am Boden bilden, wie ſie ſteigen und alsbald verſchwinden. Man ſagt alsdann, das Waſſer ſingt. Das Singen iſt ein Zeichen des bald erfolgenden vollſtändigen Kochens.

139 **Einfluß aufgelöſter Subſtanzen auf den Siedepunkt.** Der Siedepunkt der Flüſſigkeiten erleidet durch Subſtanzen, welche nur mechaniſch in denſelben ſuspendirt ſind, keine Veränderung; eine ſolche Veränderung tritt aber ein, wenn ſich die Theilchen des fremden Körpers chemiſch mit der Flüſſigkeit verbinden. Alle löslichen Salze z. B. erhöhen die Temperatur des Siedepunkts des Waſſers. Der Dampf, welcher ſich aus ſolchen Löſungen bildet, iſt gerade eben ſo rein, als ob er aus reinem Waſſer ſich gebildet hätte.

Legrand hat eine Menge intereſſanter Verſuche über dieſen Gegenſtand angeſtellt, deren Reſultate die folgende Tabelle enthält.

Tabelle
der Siedepunkte verſchiedener geſättigter Löſungen.

Namen der Löſungen.	Siedepunkte.	Quantität des Salzes, welche 100 Theile Waſſer ſättigen.
Chlorſaures Kali	104,2	61,5
Chlorbarium	104,4	60,1
Kohlenſaures Natron	104,6	48,5
Phosphorſaures Natron	106,5	113,2
Chlorkalium	108,3	59,4
Chlornatrium	108,4	41,2
Salzſaures Ammoniak	114,2	88,9
Neutrales weinſteinſaures Kali	114,67	269,2
Salpeterſaures Kali	115,9	335,1
Chlorſtrontium	117,6	117,5
Salpeterſaures Natron	121,0	224,8
Eſſigſaures Natron	124,37	209,0
Kohlenſaures Kali	133,0	205,0
Salpeterſaurer Kalk	151,0	362,2
Eſſigſaures Kali	169,0	798,2
Chlorcalcium	179,5	325,0
Salpeterſaures Ammoniak	180,0	unendlich

Legrand hat sich nicht damit begnügt, die Siedepunkte der gesättigten wässerigen Lösungen zu bestimmen, sondern er machte auch zahlreiche und genaue Versuche, um die Salzmenge auszumitteln, welche man zu 100 Theilen Wasser setzen muß, um die Siedetemperatur um 1 — 2 Grad u. s. w., bis zum Sättigungspunkte, zu erheben. Die folgende Tabelle giebt einen Auszug aus seiner Arbeit.

Erhöhung der Siedetemperatur in Graden.	Salpeters. krystallisirtes Ammoniak.	Chlorcalcium.	Essigsaures Kali.	Salpetersaurer Kalk.	Kohlensaures Kali.	Essigsaures Natron.	Salpetersaures Natron.	Chlorstrontium.	Salpetersaures Kali.	Neutrales weinsteinsaures Kali.	Ammoniakalz.	Chlornatrium.	Chlorkalium.	Phosphorsaures Natron.	Kohlensaures Natron.	Chlorbarium.	Chlorsaures Kali.
1	10,0	10,0	10,5	15,0	13,0	9,9	9,3	16,7	12,2	26,9	7,8	7,7	9,0	23,0	14,4	19,6	14,64
2	20,5	16,5	20,0	25,3	22,5	17,6	18,7	25,2	26,4	47,2	13,9	13,4	17,1	42,8	26,7	32,5	29,28
3	31,3	21,6	28,6	34,4	31,0	23,1	28,2	32,1	42,2	65,0	19,7	18,4	24,5	60,6	36,8	44,5	43,92
4	42,4	25,8	36,4	42,6	38,8	30,5	37,9	37,9	59,6	82,3	25,2	23,1	31,4	76,8	44,7	56,0	58,56
5	53,8	29,4	43,4	50,4	46,1	36,7	47,7	43,4	78,3	100,1	30,5	27,7	37,8	91,8			
6	65,4	32,6	49,8	57,8	53,1	42,9	57,6	48,8	98,2	118,5	35,7	31,8	44,2	106,1			
7	77,3	35,6	55,8	64,9	59,6	49,3	67,7	54,0	119,0	137,3	41,3	35,8	50,5				
8	89,4	38,5	61,6	71,8	65,9	55,8	77,9	59,0	140,6	156,5	47,3	39,7	56,9				
9	101,9	41,3	67,4	78,6	71,9	62,4	88,3	63,9	163,0	176,1	53,5						
10	114,9	44,0	73,3	85,3	77,8	69,2	98,8	68,9	185,9	196,2	59,9						
11	128,4	46,8	79,3	91,9	83,0	76,2	109,5	74,1	209,2	216,8	66,4						
12	142,4	49,7	85,3	98,4	88,2	83,4	120,3	79,6	233,0	237,9	73,3						
13	156,9	52,6	91,4	104,8	93,2	90,9	131,3	85,3	257,6	259,5	80,5						
14	172,0	55,6	97,6	111,2	98,0	98,8	142,4	91,2	283,3	281,6	88,1						
15	188,0	58,6	103,9	117,5	102,8	107,1	153,7	97,5	310,2								
16	204,4	61,6	110,3	123,8	107,5	115,8	165,2	104,0	336,0								
17	221,4	64,6	116,8	130,0	112,3	125,1	176,8	110,9									
18	238,8	67,6	123,4	136,1	117,1	134,9	188,6										
19	256,8	70,6	130,1	142,1	122,0	145,2	200,5										
20	275,3	73,6	136,9	148,1	127,0	156,1	212,6										
22	314,0	79,8	150,8	160,1	137,0	179,3											
24	354,0	86,0	165,1	172,2	147,1	204,5											
26	396,0	92,2	180,1	184,5	157,3												
28	440,2	98,4	196,1	197,0	167,7												
30	487,4	104,6	213,0	209,5	178,1												
32	537,3	110,9	230,6	222,2	188,8												
34	590,0	117,2	248,7	235,1	199,6												
36	645,0	123,5	267,5	248,1													
38	705,5	129,9	287,3	261,8													
40	770,5	136,3	308,3	274,7													
42	840,6	142,8	330,8	288,4													
44	915,5	149,4	354,9	302,6													
46	995,5	156,2	380,6	317,4													
48	1081,5	163,2	407,9	333,2													
50	1173,5	170,5	436,9	351,2													
52	1273,0	178,1	467,6														
54	1383,0	186,0	500,0														
56	1504,0	194,3	534,1														
58	1637,0	203,0	569,9														
60	1775,0	212,1	607,4														
62	1923,0	221,6	646,6														
64	2084,0	231,5	687,6														
66	„	241,9	730,4														
68	„	252,8	775,0														
70	„	264,2															
72	„	276,1															
74	„	288,5															
76	„	301,4															
78	„	314,8															
80	unendl.																

Rudberg hat durch genaue Versuche nachgewiesen, daß die Temperatur der aus einer siedenden Salzlösung sich entwickelnden Dämpfe vollkommen der Temperatur derjenigen Dämpfe gleich ist, welche unter gleichem Drucke aus reinem Wasser aufsteigen, die Temperatur der siedenden Salzlösung mag noch so viel die des siedenden Wassers übersteigen.

Wenn eine Flüssigkeit mit irgend einer andern mehr oder weniger flüchtigen gemischt wird, so tritt ebenfalls eine Veränderung des Siedepunkts ein. So wird durch Alkohol der Siedepunkt des Wassers erniedrigt, durch Schwefelsäure aber erhöht.

Auch die Wände der Gefäße üben einen Einfluß auf den Siedepunkt aus; so kocht z. B. das Wasser in metallenen Gefäßen eher als in gläsernen. Man beobachtet häufig, daß das Kochen unter einem heftigen Aufstoßen vor sich geht, welches um so stärker ist, je mehr Cohäsion die Theilchen der Flüssigkeit unter einander haben, und je stärker die Molekularwirkung zwischen den Theilchen der Flüssigkeit und der Gefäßwände ist. Es reicht oft hin, einige Metallstückchen in die Glasgefäße zu werfen, um das Stoßen zu verhindern und das Kochen regelmäßig zu machen.

140 **Schnelligkeit des Kochens.** Die Menge des Dampfes, welche durch Kochen erzeugt wird, hängt von der Menge der Wärme ab, welche in einer gegebenen Zeit in die Flüssigkeit übergehen kann, und diese Wärmemenge hängt ab 1) von der Wirksamkeit des Heerdes, 2) von der Natur und der Dicke der Kesselwände, und 3) von der Größe der Oberfläche der Flüssigkeit, welche der Wirkung des Feuers ausgesetzt ist.

1. Die Wirksamkeit der Feuerstelle hängt von der Einrichtung des Ofens und der Natur des Brennstoffs ab, denn verschiedene Brennstoffe, wie Holz, Kohlen, Torf u. s. w., geben bei gleichem Gewicht nicht gleiche Mengen Wärme, und auch nicht mit allen läßt sich dieselbe Temperatur hervorbringen.

2. Die äußere Oberfläche des Kessels kann mehr oder weniger geeignet seyn Wärme aufzunehmen, und ferner werden wir sehen, daß die Natur der Wände und die Dicke derselben einen bedeutenden Einfluß auf die Menge der durchgehenden Wärme ausübt.

3. Das Wasser, welches die erhitzten Kesselwände berührt, ist dasjenige, welches zunächst die Wirkung des Feuers empfängt; und wenn jeder Theil der Wand gleiche Wärmemenge liefert, so ist klar, daß die Menge des Wassers, welches in einer gegebenen Zeit verdampft, der Größe desjenigen Theils der Kesselwand proportional ist, welcher vom Feuer getroffen wird. Dies ist auch durch Versuche bestätigt worden, welche wenigstens für die Praxis wichtig sind. Es scheint, daß unter den günstigsten Umständen bei einem möglichst lebhaften Feuer jedes Quadratmeter der erhitzten Oberfläche 2 bis 3 Kilogramm Wasser in der Minute verdampft.

Es ist dies wenigstens der Fall bei den Locomotiven auf Eisenbahnen, welche mit einem Drucke von 4 bis 5 Atmosphären arbeiten. Zur Heizung der Kessel feststehender Niederdruckmaschinen sind die Einrichtungen so getroffen, daß möglichst an Brennmaterial gespart wird, und bei diesen erhält man in der Regel nur $^2/_3$ Kilogramm Dampf in der Minute von jedem Quadratmeter der erhitzten Fläche, wenn man auch diejenigen Theile des Kessels eben so gut als Feuerfläche betrachtet, welche nur der Wirkung des Rauchs ausgesetzt sind, als diejenigen, welche die directe Wirkung der Flamme empfangen.

141 Bei gleichem Drucke sind die Siedepunkte verschiedener Flüssigkeiten nicht dieselben. Die folgende Tabelle enthält die Siedepunkte mehrerer Flüssigkeiten für einen mittleren Barometerstand von 760^{mm}.

Cyangas	— 18	Grad.
Schweflige Säure .	— 10	»
Schwefeläther . . .	+ 37,8	»
Schwefelkohlenstoff .	47,0	»
Alkohol	79,7	»
Terpentinöl . . .	157	»
Phosphor	290	»
Schwefel	299	»
Schwefelsäure . .	310	»
Leinöl	316	»
Queckſilber . . .	350	»

142 Einige Flüssigkeiten zeigen, mit rothglühenden Metallflächen in Berührung gebracht, die eigenthümliche Erscheinung, daß sie nicht in's Kochen kommen. Im Kleinen kann man den Versuch leicht anstellen, wenn man eine Metallschale (von Silber oder Platin) über einer Spirituslampe bis zum Rothglühen erhitzt und dann einige Tropfen Wasser in die glühende Schale fallen läßt. Die Flüssigkeit rundet sich ab wie Queckſilber in einem Glasgefäße, nimmt eine rasche drehende Bewegung an, ohne in's Kochen zu kommen und ohne merklich an Volumen abzunehmen. Wenn die Flamme der Spirituslampe groß genug ist, um ein lebhaftes Glühen der Metallschale zu erhalten, so kann man nach und nach eine ziemlich beträchtliche Menge Wasser in die Schale gießen, ohne daß es in's Sieden kommt. Wenn man aber die Flamme unter der Schale auslöscht und die Schale etwas erkaltet ist, beginnt das Wasser plötzlich mit der größten Heftigkeit zu kochen, so daß das Wasser nach allen Richtungen hin fortgeschleudert wird. Diese Erscheinung wurde zuerst von **Leidenfrost** beobachtet, daher der Name des **Leidenfrostischen Tropfens**.

Die wahrscheinliche Ursache dieses sonderbaren Phänomens ist die, daß zwischen den Theilchen des Wassers und dem glühenden Metall eine zu

wenig innige Berührung stattfindet, als daß genug Wärme in das Wasser übergehen kann, um das Kochen hervorzubringen. Bei abnehmender Hitze stellt sich die Berührung wieder her, daher die plötzliche heftige Dampfbildung. Wie dem auch sey, die Sache erscheint höchst sonderbar und verdient wohl eine neue gründliche Untersuchung.

Auch unter andern Umständen, bei beträchtlicheren Massen, ist diese Erscheinung beobachtet worden, z. B. im Papinianischen Topfe und in Kesseln von Dampfmaschinen; sie ist die Ursache gefährlicher Explosionen. Wenn nämlich der Wasserstand in einem Dampfkessel so tief gesunken ist, daß ein Theil der Feuerfläche nicht mehr mit Wasser in Berührung ist, so kann das Metall an dieser Stelle glühend werden. Wenn nun von Neuem Wasser in den Kessel zufließt, so sind die Bedingungen zum Leidenfrostischen Phänomen gegeben; einige Zeit lang bleibt das Wasser mit der glühenden Fläche in Berührung, ohne hier zu kochen, nachdem aber die Kesselwände sich etwas abgekühlt haben, beginnt auf einmal die Dampfbildung mit solcher Heftigkeit, daß die Dämpfe nicht einmal durch das geöffnete Sicherheitsventil schnell genug entweichen können, es erfolgt eine Explosion.

Eine Erscheinung, welche auch hierher gehört, ist von Perkins beobachtet worden. Bei der Rothglühhitze kann man nämlich mehrere kleine Oeffnungen in die Wände von Dampfkesseln machen, ohne daß Dampf entweicht, bei niedrigerer Temperatur aber strömt der Dampf mit Gewalt hervor.

143 Verdunstung nennt man die Bildung von Dampf an der freien Oberfläche der Flüssigkeit, während, wie wir gesehen haben, das Kochen darin besteht, daß sich auch im Innern der flüssigen Masse Dampf bildet. Das Wasser verdampft an der Oberfläche der Flüsse, Seen und Meere, es verdampft an der Oberfläche des feuchten Bodens, an den Pflanzen. Offenbar hat der sich so bildende Wasserdampf keine Spannkraft, welche stark genug ist, um den Druck der atmosphärischen Luft zu überwinden. Die alltäglichsten Beobachtungen zeigen uns, daß sich bei jeder Temperatur Wasserdampf bildet, und daß er sich auch bei der schwächsten Tension doch in den Lüften verbreitet. Man hatte früher angenommen, daß eine chemische Verwandtschaft zwischen den Luftmolekülen und denen des Wasserdampfs die Ursache dieser Erscheinung sey; wir haben aber gesehen, daß es nicht nöthig ist, chemische Kräfte zu Hülfe zu nehmen. Der Wasserdampf, so schwach seine Spannkraft auch sein mag, mischt sich mit der Luft, wie sich zwei Gase mischen. Die einzige Bedingung also, welche erfüllt seyn muß, damit eine Flüssigkeit verdunsten kann, ist die, daß die umgebenden Luftschichten nicht mit Dampf gesättigt sind; da ferner bei der Mischung zweier Gase die Moleküle des einen ein mechanisches Hinderniß für die Verbreitung des andern bilden, so kommt es, daß bei der

Verdunstung die Luft ein Hinderniß für die schnelle Verbreitung des Dampfes ist. In einer vollkommen ruhigen Atmosphäre geht deshalb die Verdunstung nur langsam vor sich, während bei bewegter Luft die Verdunstung weit rascher vor sich geht, indem die Flüssigkeit stets mit neuen Luftschichten in Berührung kommt, die noch nicht mit Dampf gesättigt sind. Daher kommt es, daß, wenn ein trockner Wind mit Lebhaftigkeit weht, das Wasser sehr rasch verdunstet.

Die Schnelligkeit der Verdunstung hängt nicht allein von der Bewegung der Luft ab, sondern auch von der Tension des Dampfes, oder vielmehr von der Differenz zwischen dem Maximum der Spannkraft, welche dem Wasserdampfe bei der herrschenden Temperatur zukommt, und der Tension des Wasserdampfes, welcher schon in der Luft enthalten ist. Aus den Versuchen, welche Dalton über diesen Gegenstand anstellte, geht hervor, daß die Menge der Flüssigkeit, welche in einer gegebenen Zeit verdunsten kann, stets dieser Differenz der Spannkräfte proportional ist. Bei gleicher Oberfläche wird also in einer vollkommen trocknen Luft bei einer Temperatur von 11^0 gerade eben so viel Wasser verdunsten, als während derselben Zeit bei 30^0 in einer Luft, welche schon Wasserdampf von 20 Millimeter Spannkraft enthält.

Es ist wohl kaum röthig zu bemerken, daß unter übrigens gleichen Umständen die Wassermenge, welche in einer gegebenen Zeit verdunstet, der Größe der Oberfläche proportional ist, an welcher die Verdunstung stattfindet.

Alle übrigen Flüssigkeiten verdunsten an der freien Luft nach denselben Principien wie das Wasser, man kann nur nicht sagen, daß die Geschwindigkeit der Verdunstung geradezu der Tension des Dampfes proportional ist, denn im Allgemeinen ist noch kein Dampf dieser Flüssigkeiten in der Luft vorhanden, durch welchen die Verdunstung verzögert würde.

Wir werden in der Meteorologie alle die Phänomene der Natur kennen lernen, welche von der Bildung des Wasserdampfes, seiner Suspension in der Atmosphäre und seiner Condensation in Gestalt von Regen, Thau, Reif u. s. w. abhängen.

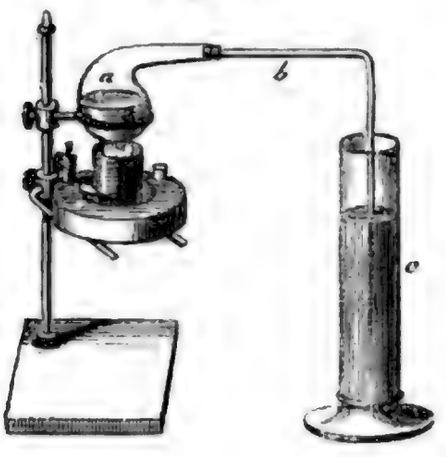
Latente Wärme der Dämpfe. Wenn eine Flüssigkeit verdampft, 144
so muß sie Wärme absorbiren; diese beim Verdampfen absorbirte Wärme ist für das Gefühl und für das Thermometer ebenso verschwunden wie die Wärme, welche beim Schmelzen gebunden wird.

Daß bei der Dampfbildung Wärme gebunden wird, geht schon daraus hervor, daß die Temperatur einer Flüssigkeit während des Kochens unverändert bleibt. Die Temperatur des siedenden Wassers bleibt 100^0, wie sehr wir auch das Feuer verstärken mögen; alle Wärme, welche man dem siedenden Wasser zuführt, dient nur dazu, das Wasser von 100^0 in Dampf von 100^0 zu verwandeln.

Das Binden von Wärme beim Verdampfen der Flüſſigkeiten läßt ſich leicht dem Gefühle merklich machen; man gieße nur einige Tropfen einer leicht verdampfenden Flüſſigkeit, etwa Weingeiſt oder Schwefeläther, auf die Hand, ſo wird man ein Gefühl von Kälte haben, weil der Hand die zum Verdampfen der Flüſſigkeit nöthige Wärme entzogen wird. Wenn man die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle umwickelt und dieſe mit Schwefeläther betröpfelt, ſo ſinkt das Thermometer um mehrere Grade.

Nachdem wir nun die Bindung der Wärme bei der Dampfbildung der Art nach kennen gelernt haben, kommt es darauf an, die latente Wärme der Dämpfe auch der Größe nach zu beſtimmen, d. h. zu ermitteln, wie=viel Wärme nöthig iſt, um eine beſtimmte Menge irgend einer Flüſſig=keit in Dampf zu verwandeln.

Fig. 311.



In Fig. 311 ſtelle *a* einen Glaskolben vor, in welchem Waſſer mit Hülfe einer Wein=geiſtlampe kochend erhalten wird; wenn nun die ſich bil=denden Dämpfe durch ein Glasrohr *b* in ein cylindri=ſches Gefäß *c* geleitet werden, welches mit kaltem Waſſer gefüllt iſt, ſo werden die Dämpfe hier verdichtet, die Wärme alſo, welche bei der Bildung der Dämpfe in *a* gebunden wurde, muß in *c* wieder frei werden, das kalte Waſſer in *c* wird alſo allmälig erwärmt, und aus der hier her=vorgebrachten Temperaturerhöhung kann man auf die Größe der latenten Wärme der Dämpfe ſchließen.

Nehmen wir an, das Kochen im Gefäße *a* habe ſchon einige Zeit ge=dauert, ſo daß alle Luft aus dem Gefäße ausgetrieben iſt, und nun erſt tauche man das Ende des gekrümmten Rohrs in das kalte Waſſer des Cylinders *c*, ſo werden alle Dampfblaſen alsbald verdichtet, ſo wie ſie mit dem kalten Waſſer in Berührung kommen. In dem Maaße aber, als das Waſſer in *c* wärmer wird, werden die Dampfblaſen größer, bis endlich, wenn auch das Waſſer in *c* zur Siedehitze erwärmt iſt, die Dampf=blaſen unverdichtet durch die ganze Flüſſigkeitsmaſſe aufſteigen, alſo in *c* ſelbſt ein förmliches Kochen ſtattfindet. In dem Augenblicke, in welchem das Kochen in *c* beginnt, wird der Verſuch unterbrochen, indem man den Glascylinder *c* wegnimmt.

Geſetzt nun, in *c* hätten ſich zu Anfange des Verſuchs 11 Kubikzoll

Wasser von 0^0 befunden, so wird der Cylinder jetzt, nach Beendigung des Versuchs, 13 Kubikzoll Wasser von 100^0 enthalten; es sind also 2 Kubikzoll Wasser hinzugekommen. Diese 2 Kubikzoll Wasser sind im Gefäße *a* verdampft und im Cylinder *c* verdichtet worden, die latente Wärme, welche in *a* gebunden wurde, ist in *c* wieder frei geworden und hat hier die 11 Kubikzoll Wasser von 0^0 auf 100^0 erwärmt; dieselbe Wärmemenge also, welche bei der Verdampfung von 2 Kubikzoll Wasser absorbirt wird, reicht hin, um die Temperatur von 11 Kubikzoll Wasser von 0^0 bis 100^0 zu erhöhen. Nun aber verhalten sich 2 zu 11 wie 1 zu 5,5; wir können das Resultat unsers Versuchs also auch folgendermaßen so ausdrücken: Die Wärmemenge, welche nöthig ist, um eine bestimmte Quantität Wasser von 100^0 in Dampf von 100^0 zu verwandeln, reicht hin, um die Temperatur einer $5\frac{1}{2}$mal so großen Wassermasse von 0^0 auf 100^0 zu erhöhen.

Wir haben oben angeführt, daß man als Einheit der Wärmemengen diejenige Wärmequantität annimmt, welche erforderlich ist, um die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser um 1^0 zu erhöhen; um die Temperatur von $5\frac{1}{2}$ Kilogramm Wasser um 1^0 zu erhöhen, sind also 5,5, und um die Temperatur dieser Wassermasse um 100^0 zu erhöhen, sind 550 solcher Wärmeeinheiten nöthig.

Die latente Wärme von 1 Kilogramm Wasserdampf ist demnach gleich 550.

Der eben angeführte Versuch ist nun nicht geeignet, die latente Wärme des Wasserdampfes zu bestimmen, er wird immer mehr oder weniger unrichtige Resultate geben; er ist aber sehr geeignet, den Zusammenhang der Sache recht anschaulich zu machen. Was die Resultate dieses Versuchs besonders ungenau macht, ist der Umstand, daß bei der hohen Temperatur, zu welcher man das Wasser im Cylinder *c* erheben muß, einen bedeutenden Wärmeverlust an die Umgebung zur Folge hat; dann aber wird auch eine nicht unbedeutende Quantität Wasserdampf schon im Rohre verdichtet, giebt hier schon eine frei werdende Wärme an die Luft ab und kommt als Wasser im Cylinder *c* an; man begreift also leicht, daß, bis das Wasser in *c* ins Kochen kommt, mehr Wasser aus dem Gefäße *a* herübergekommen seyn wird, als es der Fall seyn würde, wenn diese beiden Fehlerquellen nicht vorhanden wären; dieser Versuch wird also in der Regel einen zu kleinen Werth für die latente Wärme des Wasserdampfes geben. Wir werden sogleich genauere Methoden zur Bestimmung dieser Größe kennen lernen.

Bei der Destillation werden die in irgend einem Gefäße durch Erwärmung gebildeten Dämpfe in ein Rohr geleitet, welches mit kaltem Wasser umgeben ist; dadurch werden die Dämpfe in diesem Rohre in tropfbare Flüssigkeit verwandelt, die Temperatur des Kühlwassers aber wird durch

die bei der Condenſirung der Dämpfe frei werdende Wärme bedeutend erhöht; man kann ſich davon leicht ſchon an dem kleinen Deſtillirapparate, Fig. 312, überzeugen, bei welchem die Dämpfe aus dem Glaskolben, in welchem ſie erzeugt werden, in ein gerades Rohr geleitet werden, welches durch ein weiteres Rohr hindurchgeht, welches das Kühlwaſſer enthält. Das Kühlwaſſer, welches am untern Ende des Kühlrohrs kalt zufließt, fließt am obern Ende des Kühlrohrs erwärmt wieder ab. Bei Deſtillationen,

Fig. 312.

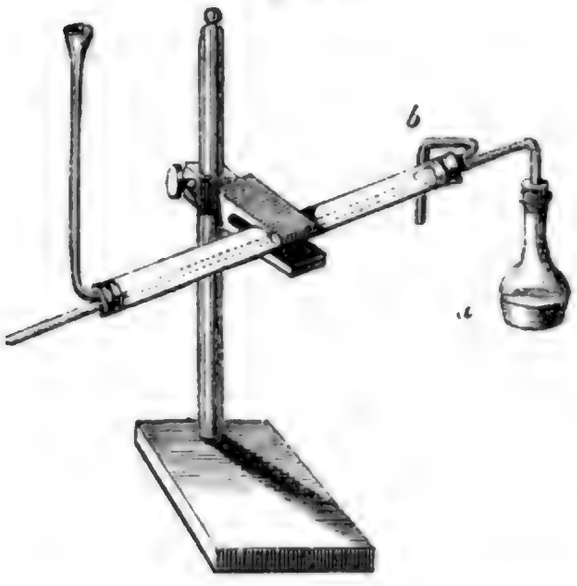


Fig. 313.

welche in größerm Maaßſtabe ausgeführt werden, iſt das Rohr, in welchem die Dämpfe condenſirt werden ſollen, in Form einer Schraubenlinie durch das mit dem Kühlwaſſer gefüllte Gefäß geleitet, wie man Fig. 313 ſieht, damit die Dämpfe möglichſt lange mit dem kalten Waſſer in Berührung bleiben und man überzeugt ſeyn kann, daß am offnen Ende des Rohrs kein Dampf unverdichtet entweicht. Wenn ein ſolcher Apparat einige Zeit im Gange geblieben iſt, ſo wird man die oberen Schichten des Waſſers im Kühlgefäße immer ſehr heiß finden, weil natürlich das erwärmte Waſſer ſogleich in die Höhe ſteigt.

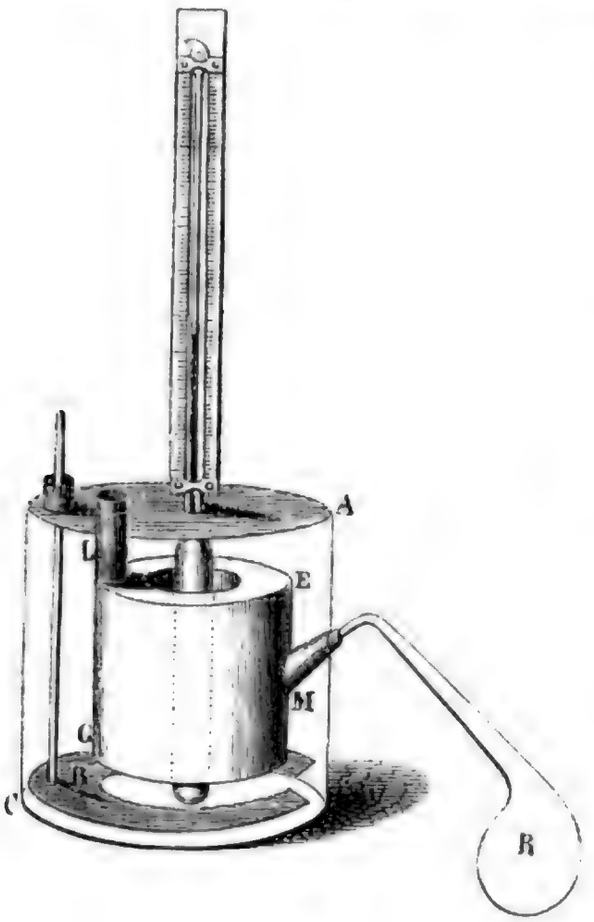
Man könnte nun mit jedem Deſtillirapparate den Werth der latenten Wärme der Dämpfe beſtimmen, wenn es möglich wäre, jederzeit genau zu ermitteln, wie viel Dampf in einer gegebenen Zeit verdichtet worden iſt und wie viel Wärme er an das Kühlwaſſer abgegeben hat; um die latente Wärme der Dämpfe genau zu beſtimmen, hat man alſo nur einen Deſtillirapparat ſo einzurichten, daß ſich dieſe Größen mit Genauigkeit ermitteln laſſen.

Black hat zuerſt dieſe Methode in Anwendung gebracht, und alle ſpäteren Phyſiker, welche die latente Wärme der Dämpfe zu beſtimmen ſuchten, ſind von derſelben Grundidee ausgegangen. Wenn die Reſultate ver-

schiedener Untersuchungen über diesen Gegenstand ziemlich von einander abweichen, so liegt der Grund nur darin, daß mancherlei Fehlerquellen nicht immer gehörig berücksichtigt wurden.

Die neueste, sehr gründlich durchgeführte Arbeit über die latente Wärme der Dämpfe hat Brix in Berlin gemacht (Poggendorff's Annalen LV.). In Fig. 314 ist der Apparat dargestellt, den er zu seinen Versuchen anwandte. Als Kühlgefäß diente ein cylindrisches Gefäß *A C*, dessen Basis ungefähr 3 Zoll Durchmesser hatte und welches auch ungefähr 3 Zoll hoch war; die in einer kleinen Retorte *R* entwickelten Dämpfe wurden, nicht wie gewöhnlich in einem Schlangenrohre, sondern in einem cylindrischen hohlen Gefäße *E G* von ringförmiger Basis condensirt. Bei *M* wurden die Dämpfe in dieses Gefäß hineingeleitet, dessen innerer Raum durch eine Röhre *L* mit der äußern Luft in Verbindung war, so daß die durch die Wärme verdrängte Luft hier austreten konnte. Das Kühlgefäß wurde mit einer gewogenen Quantität Wasser gefüllt, dessen Temperatur man stets an einem in der Mitte des ganzen Apparates angebrachten Thermometer ablesen konnte. In dem Raume zwischen der Vorlage *E G* und der Wand des äußern Gefäßes *A C* befand sich eine horizontal liegende Metallscheibe *B*, welche vermittelst eines vertikalen Drahtes sich selbst parallel auf und ab bewegen konnte; dadurch wurde das Kühlwasser in steter Bewegung erhalten und eine möglichst gleichförmige Vertheilung der Wärme in demselben bewirkt.

Fig. 314.



Bei dem Versuche ruhte der Apparat auf drei hölzernen Füßchen, welche ihn nur in wenigen Punkten berührten und gegen die Wärme, welche vom Beobachter und der kleinen Weingeistlampe, durch welche die Flüssigkeit in der Retorte *R* ins Kochen gebracht wurde, ausstrahlte, war er durch Schirme von Holz und Pappe geschützt.

Um zu verhüten, daß das Kühlgefäß Wärme an die umgebende Luft verliert, wandte Brix einen Kunſtgriff an, deſſen ſich ſchon Rumford bei ähnlichen Verſuchen bedient hatte, und welcher darin beſteht, daß das Kühlgefäß mit Waſſer gefüllt wird, welches zuvor ſchon einige Grade unter die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet worden war, und die Deſtillation ſo lange fortſetzt, bis die Temperatur des Kühlwaſſers die Lufttemperatur um ebenſo viel übertrifft, als ſie anfangs unter derſelben geweſen war. Dabei läßt ſich dann wohl annehmen, daß der Apparat während der erſten Hälfte des Verſuchs etwa ebenſo viel Wärme von der Luft empfing, als er in der zweiten Hälfte verlor. Die übrigen Vorſichtsmaßregeln, welche Brix anwandte, um möglichſt genaue Reſultate zu erhalten, können hier nicht weiter erörtert werden.

Die übergegangene Flüſſigkeit ſelbſt wurde nicht gewogen, ſondern der Gewichtsverluſt, den die Flüſſigkeit in der Retorte *R* während des Verſuchs erlitten hatte, beſtimmt. Man kannte alſo die Quantität der überdeſtillirten Flüſſigkeit, man wußte, welche Temperaturerhöhung die bei ihrer Verdichtung frei werdende Wärme in einer bekannten Waſſermaſſe hervorgebracht hatte, und konnte daraus die latente Wärme der Dämpfe berechnen.

Folgendes ſind die Werthe, welche Brix nach dieſer Methode für die latente Wärme des Dampfes mehrerer Flüſſigkeiten fand:

Waſſer	540
Alkohol	214
Schwefeläther . . .	90
Terpentinöl . . .	74
Citronenöl	80.

Dieſe Werthe ſind immer das Mittel aus mehreren wenig von einander abweichenden Reſultaten.

Despretz, welcher ebenfalls recht genaue Verſuche über dieſen Gegenſtand gemacht hatte, giebt folgende Werthe an:

Waſſer	531
Alkohol	208
Schwefeläther . . .	97
Terpentinöl . . .	77.

Rumford fand für die latente Wärme des Waſſerdampfs den Werth 567, Dulong 543.

Bezeichnen wir den Werth für die latente Wärme des Waſſerdampfs mit 1, ſo ergeben ſich folgende Werthe für die latente Wärme der übrigen Dämpfe:

	Nach Brix.	Nach Despretz.
Wasser	1	1
Alkohol	$\frac{1}{2,52}$	$\frac{1}{2,55}$
Schwefeläther	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5,47}$
Terpentinöl	$\frac{1}{7,3}$	$\frac{1}{7}$.

Nimmt man die Dichtigkeit des Wasserdampfs zur Einheit, so ergeben sich für die Dichtigkeit der Dämpfe der eben besprochenen Flüssigkeiten aus der Tabelle auf Seite 338 folgende Werthe:

Wasser	1
Alkohol	2,58
Schwefeläther . . .	4,15
Terpentinöl . . .	8,04.

Die Betrachtung dieser Zahlen zeigt, daß sich die latente Wärme der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten sehr nahe umgekehrt verhält wie die Dichtigkeit dieser Dämpfe. So ist der Alkoholdampf 2,58mal dichter als Wasserdampf, die latente Wärme des Alkoholdampfes ist aber 2,52- bis 2,55mal kleiner als die des Wasserdampfes. Beim Terpentinöl ist die Uebereinstimmung geringer; wenn wir jedoch für die Dichtigkeit des Terpentinöldampfes nach Dumas den Werth 4,76 nehmen, so ist er 7,6mal dichter als der Wasserdampf, was schon weit besser paßt. Für den Aether ist die Differenz bedeutend. Es muß vor der Hand dahingestellt bleiben, ob der Mangel an Uebereinstimmung vielleicht den Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden muß, oder ob ein solches Gesetz gar nicht stattfindet.

Wenn dieses Gesetz richtig wäre, so würden gleiche Volumina gesättigten Dampfes bei der Temperatur des Siedepunktes für alle Flüssigkeiten dieselbe Menge latenter Wärme enthalten.

Die bisher besprochenen Werthe für die latente Wärme der Dämpfe gelten natürlich nur für die bei der Temperatur des Siedepunktes unter einem Luftdrucke von 760^{mm} gebildeten Dämpfe.

Die latente Wärme der Dämpfe ist nicht für alle Temperaturen dieselbe; sie ist größer für niedrige, geringer für hohe Temperaturen; ein Kilogramm Wasserdampf von 50^0 enthält also mehr, ein Kilogramm Wasserdampf von 150^0 enthält weniger gebundene Wärme als ein Kilogramm Wasserdampf von 100^0. Nach den Versuchen von Scharp ist die Summe der freien und der fühlbaren Wärme des Wasserdampfes immer eine constante Größe. Die latente Wärme des Wasserdampfes von

100° ist gleich 540, addirt man dazu die freie Wärme, also 100°, so erhält man die Summe 640; dieselbe Summe muß man erhalten, wenn man für irgend eine andere Temperatur die freie und die gebundene Wärme zusammennimmt; daraus ergeben sich für die latente Wärme des Wasserdampfes verschiedener Temperaturen folgende Werthe;

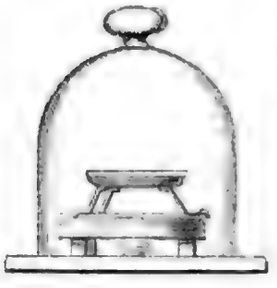
Freie Wärme des Dampfes.	Latente Wärme des Dampfes.
— 10°	650
0°	640
+ 50°	590
100°	540
200°	440.

Pambours Versuche haben dies bestätigt. Nach Despretz findet für Alkohol-, Aether- und Terpentinöldampf diese Beziehung nicht Statt.

145 **Erzeugung von Kälte durch Verdampfung.** Wenn eine Flüssigkeit an freier Luft kocht, so behält sie eine constante Temperatur, weil sie von dem Feuer durch die Wände des Gefäßes stets so viel Wärme erhält, als durch die Dampfbildung absorbirt wird. Wenn das Kochen aber unter dem Recipienten der Luftpumpe vor sich geht, so sinkt die Temperatur fortwährend, weil alsdann der Dampf die zu seiner Bildung nöthige latente Wärme aus der Flüssigkeit selbst und aus den umgebenden Körpern nehmen muß. Durch die bei rascher Verdampfung stattfindende Wärmebindung erklären sich folgende Versuche.

146 **Gefrieren des Wassers im leeren Raume.** Man setzt unter den Recipienten der Luftpumpe ein breites Glasgefäß, welches mit Schwefelsäure gefüllt ist. Einige Zoll darüber ist ein ganz dünnes flaches Metallschälchen angebracht, Fig. 215, welches einige Gramm Wasser enthält. Gewöhnlich ist dieses Schälchen an drei Fäden aufgehängt, oder es ruht auf drei feinen Metallfüßen, welche auf dem Rande des untern Glasgefäßes aufstehen. Nach einigen Kolbenzügen kommt das Wasser ins Kochen; fährt man fort auszupumpen, so hört das Kochen auf, und wenn die Leere so vollständig wie möglich hergestellt ist, wartet man einige Minuten. Bald erscheinen Eisnadeln im Schälchen, und nach einiger Zeit ist die ganze Wassermasse in eine feste Masse verwandelt. Dieser merkwürdige Versuch rührt von Leslie her. Die Schwefelsäure absorbirt den Wasserdampf, sobald er sich bildet, und unterhält dadurch eine rasche Verdunstung. Alle Körper, welche den Wasserdampf stark absorbiren, bringen dieselbe Wirkung hervor. Das Metallschälchen muß sehr dünn seyn, weil es auch an der Erkaltung Theil nehmen muß; es muß von der Umgebung durch

Fig. 315.



schlechte Wärmeleiter isolirt seyn, damit dem Wasser nicht von außen Wärme zugeführt wird.

In Wollaston's Kryophorus gefriert das Wasser ebenfalls durch seine eigene Verdampfung. Zwei Glaskugeln, Fig 316, sind durch eine Röhre verbunden. In jede Kugel wird etwas Wasser gebracht und durch das Kochen desselben alle Luft aus dem Apparate ausgetrieben. Ist dies geschehen, so wird die Oeffnung bei e mittelst eines Löthrohrs zugeschmolzen, und so der Apparat luftdicht verschlossen. Wenn man nun alles Wasser in einer Kugel zusammenlaufen läßt und dann die andere Kugel in eine Kältemischung taucht, so wird durch die fortwährend hier erfolgende Verdichtung der Wasserdämpfe in der andern Kugel eine so rasche Verdunstung hervorgerufen, daß das Wasser gefriert.

Fig. 316.

Auch durch die rasche Verdunstung von Schwefeläther kann man Wasser leicht zum Gefrieren bringen. Man umwickelt zu diesem Zwecke eine mit Wasser gefüllte, etwa 1 Linie weite Glasröhre mit Baumwolle, die man mit Schwefeläther beträufelt. Die so vorgerichtete Röhre bringt man in einem beliebigen Glasgefäße unter die Glocke der Luftpumpe. Beim Evacuiren verdunstet der Aether so rasch, daß das Wasser gefriert.

Gefrieren des Queckſilbers. Man kann die Erkaltung durch Ver- 147
dampfen bis zum Gefrierpunkte des Queckſilbers treiben. Zu diesem Zwecke umwickelt man eine Thermometerkugel mit einem Schwämmchen oder einem schwammartigen Gewebe, welches man mit Schwefelkohlenstoff oder noch besser mit flüssiger schwefliger Säure befeuchtet. Die Verdampfung geht so rasch vor sich, und die dadurch weggenommene Wärmemenge ist so bedeutend, daß das Thermometer auf — 10°, — 20°, — 30° fällt und nach einigen Augenblicken das Queckſilber in der Kugel gefriert.

Eine Flüssigkeit verdampft um so rascher, sie erzeugt also bei ihrer Verdampfung eine um so stärkere Kälte, je tiefer ihr Siedepunkt liegt; deshalb wird durch Verdampfen von Schwefeläther eine stärkere Kälte erzeugt als durch Wasser, durch schweflige Säure mehr als durch Aether, durch flüssige Kohlensäure mehr als durch schweflige Säure.

Wenn man den mit flüssiger Kohlensäure gefüllten Recipienten des Apparates Fig. 304 auf Seite 342 noch etwas abkühlt, indem man ihn in eine Kältemischung stellt; wenn man dann die Flasche umkehrt, so daß der Hahn unten ist, und diesen Hahn öffnet, so dringt ein Strahl flüssiger Kohlensäure hervor, welche ganz milchig erscheint, weil durch die rasche Verdunstung so viel Wärme gebunden wird, daß ein Theil der Kohlensäure selbst in den festen Zustand übergeht; es bilden sich schneeähnliche Flocken

von Kohlenſäure. Um dieſe feſte Kohlenſäure zu ſammeln, dient der Behälter Fig. 317. Zwei Cylinder von Meſſingblech, welche auf der einen Seite mit einem gewölbten Boden geſchloſſen ſind, werden zuſammengeſteckt, wie man Fig. 317 ſieht, ſo daß ſie einen geſchloſſenen Raum bil-

Fig. 317.

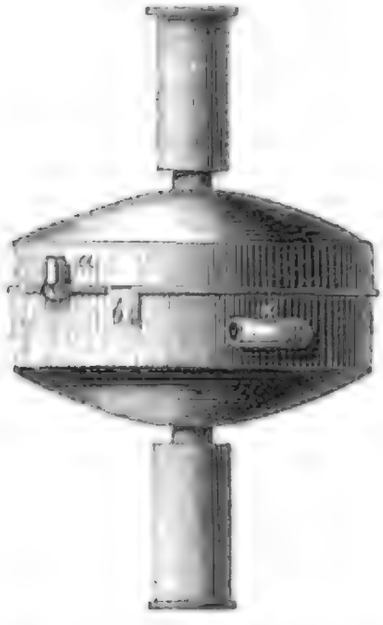
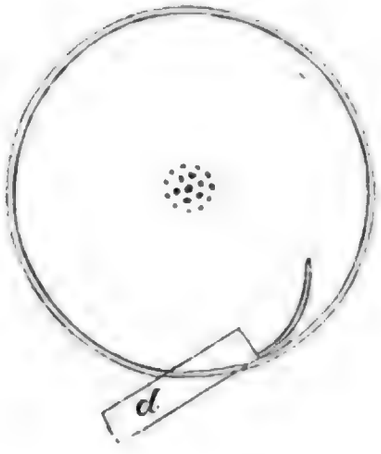


Fig. 318.



den. Ein am oberen Cylinder feſt anſitzender Haken *a* greift ebenſo wie ein diametral gegenüberſtehender über einen auf den andern Cylinder aufgelötheten Drahtring und hindert dadurch das Auseinandernehmen der beiden Theile; dreht man ſie aber ſo, daß der Haken *a* an die Stelle *b* kommt, wo der Drahtring unterbrochen iſt, ſo kann man die beiden Theile auseinandernehmen. In Fig. 318 iſt der untere Theil im Grundriſſe dargeſtellt. Eine Röhre *d* führt in den Behälter hinein; in dieſe Röhre *d* wird das an der Flaſche Fig. 305 befindliche Röhrchen *n* hineingeſteckt und dann die Schraube *t* geöffnet. Die Kohlenſäure ſtrömt nun in den Behälter Fig. 317, deſſen Handgriffe auf beiden Seiten hohl ſind, ſo daß durch die Löcher in den beiden Böden die verdampfende Kohlenſäure entweichen kann, während die feſte ſchneeartige in dem Blechgefäße geſammelt wird. Man braucht nur die beiden Theile auseinander zu nehmen, um die feſte Kohlenſäure herausnehmen zu können.

Dieſe hat nun eine ſehr niedrige Temperatur, welche noch dadurch erniedrigt werden kann, daß man noch Aether darauf tröpfelt; eine ziemliche Quantität Queckſilber kann man mit dieſem Brei augenblicklich gefrieren machen; mit dem Finger berührt erzeugt ſie ein ſchmerzhaftes Gefühl; die Temperatur iſt unter — 90°, was jedoch nur mit Thermometern von Weingeiſt oder Schwefelkohlenſtoff ermittelt werden kann.

Man kann, wie ſchon oben bemerkt wurde, auch Stickſtoffoxydulgas

mit Hülfe des Natterer'schen Apparates verdichten. Wenn die Oeffnung im Röhrchen *n* recht fein ist, so erhält man das ausströmende Stickstoffoxydulgas auch in freier Luft im flüssigen Zustande. Natterer sammelte ein kleines Trinkglas voll dieser Flüssigkeit, die sich bei weitem länger erhielt als feste Kohlensäure und die niedrigste Temperatur liefert, die man bis jetzt kennt. Ein zu diesem Zwecke eigens vorgerichtetes Thermometer sank auf — 105°, was wohl der Siedepunkt der Flüssigkeit seyn dürfte; aus der Flüssigkeit herausgezogen sank es noch auf — 115°, indem es sich mit einer Kruste von festem Stickstoffoxydul überzog. Alkohol von 0,84 specif. Gewicht wird bei diesen niedrigen Temperaturen zähe, von 0,797 spec. Gew. bedeutend dickflüssig.

Die Alcarazzas, deren man sich in Spanien bedient, um Wasser und geistige Getränke kühl zu erhalten, sind poröse Gefäße, welche eine große Oberfläche für die Verdunstung bieten. Die im Innern befindliche Flüssigkeit sickert durch die Wände durch, sie verdampft rasch in einer etwas bewegten Luft, und da dieses fortwährend stattfindet, so wird dadurch das Gefäß sammt der darin enthaltenen Flüssigkeit auf einer Temperatur erhalten, welche bedeutend tiefer ist als die der umgebenden Luft.

Aus ähnlichen Gründen haben die Pflanzen in der Regel eine Temperatur, welche niedriger ist als die der Luft, denn ihre äußeren Gewebe verrichten mehr oder weniger das Geschäft der Alcarazzas.

Die reichliche Ausdünstung, welche fortwährend an der Oberfläche lebender Geschöpfe vor sich geht, ist ebenfalls eine Ursache von Abkühlung. Wir werden später sehen, wenn von der thierischen Wärme die Rede ist, daß das Blut der warmblütigen Thiere eine fixe Temperatur hat, welche ohne die größten Nachtheile für den Organismus weder steigen, noch sinken und nicht um einige Grade variiren kann, ohne daß der Tod erfolgt. Beim Menschen, in welchem Klima er auch wohnen mag, beträgt diese Temperatur 37°. In der heißen Zone, wo die Temperatur der Luft oft auf 50° steigt, leben die Menschen in dieser glühenden Atmosphäre, ohne an ihrer Temperatur Theil zu nehmen. Die Ausdünstung ist aber stets dieser Wärme proportional.

Viertes Kapitel.

Von der Dampfmaschine.

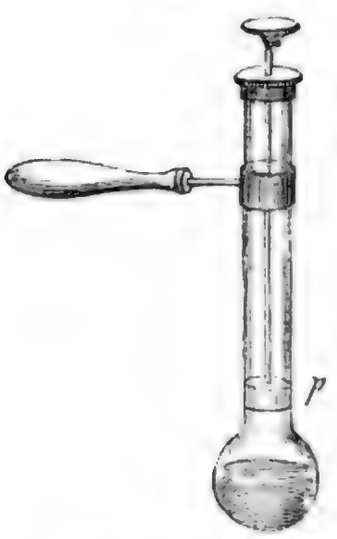
Der Wasserdampf gehört zu den mächtigsten bewegenden Kräften, die 148
uns zu Gebote stehen. Es ist kein Zweifel, daß der ungeheure Auf-

ſchwung, deſſen ſich die Induſtrie und der Verkehr in den neueſten Zeiten zu erfreuen haben, der Anwendung des Waſſerdampfs zu verdanken iſt. Der Waſſerdampf liefert uns eine Kraft, deren wir auf's vollkommenſte Meiſter ſind, der wir jede nur beliebige Intenſität geben können, die wir überall leicht erzeugen und anbringen können.

Die Dampfmaſchine ſpielt im practiſchen Leben gegenwärtig eine ſo bedeutende Rolle, daß jeder Gebildete ſich gern über die Grundzüge ihrer Conſtruction unterrichten will, und dieſen Unterricht ſucht er natürlich zuerſt in den Lehrbüchern der Phyſik. Es kann hier natürlich nicht die Rede davon ſeyn, in Beziehung auf die Conſtruction der Dampfmaſchinen und die Geſchichte ihrer Erfindung in's Detail einzugehen; der Inhalt dieſes Kapitels ſoll nur dazu dienen, dem Leſer die Orientirung in der Einrichtung der wichtigſten Arten von Dampfmaſchinen zu erleichtern.

Die Idee, den Waſſerdampf als bewegende Kraft zu benutzen, iſt ſehr alt; ſchon Hero in Alexandrien conſtruirte einen Apparat, welcher durch die Reaction des ausſtrömenden Waſſerdampfs ungefähr ſo in Rotationsbewegung geſetzt wurde wie das Segner'ſche Waſſerrad. Ein italieniſcher Mathematiker, Brancas, ließ den mit Gewalt aus einer kleinen Oeffnung eines Dampfkeſſels ausſtrömenden Dampf gegen die Schaufeln eine Rades ſtoßen, welches dadurch umgedreht wurde. Wie außerordentlich ſtark die mechaniſche Kraft des Waſſerdampfs bei höheren Temperaturen werden könne, hat zuerſt Papin mittelſt des Ventils an ſeinem Digeſtor nachgewieſen. Im Jahr 1687 conſtruirte er einen Apparat, welcher gewiſſermaßen die erſte Kolbenmaſchine genannt werden kann und deſſen Spiel aus Fig. 317 erſichtlich iſt. An eine ungefähr 1 Zoll weite Glasröhre iſt unten eine Kugel angeblaſen, welche etwas Waſſer enthält; in der Röhre aber bewegt ſich ein Kolben *p*, welcher mit etwas Werg umwickelt und durch Fett vollkommen ſchließend und möglichſt leicht beweglich gemacht iſt. Nehmen wir an, der Kolben befinde ſich am untern Ende der Röhre, ſo wird er durch die entwickelten Dämpfe in die Höhe getrieben werden, wenn man die Kugel erwärmt. Wenn der Kolben oben angekommen iſt, taucht man die Kugel in kaltes Waſſer; dadurch verdichten ſich die Dämpfe im Innern, es entſteht ein verdünnter Raum, der Druck der atmoſphäriſchen Luft, welcher auf der obern Fläche des Kolbens laſtet, drückt ihn alſo nieder. Bei einer abermaligen Erwärmung wiederholt ſich daſſelbe Kolbenſpiel. Papin ſtellte ganz in dieſer Art Verſuche an; ſeine Cylinder, welche von Gußeiſen waren, hatten meh-

Fig. 317.



rere Fuß Durchmesser und eine entsprechende Höhe. Sie wurden noch lange im Gießhause zu Kassel aufbewahrt, bis sie endlich beim Brande dieses Gebäudes, im Jahr 1836, zu Grunde gingen.

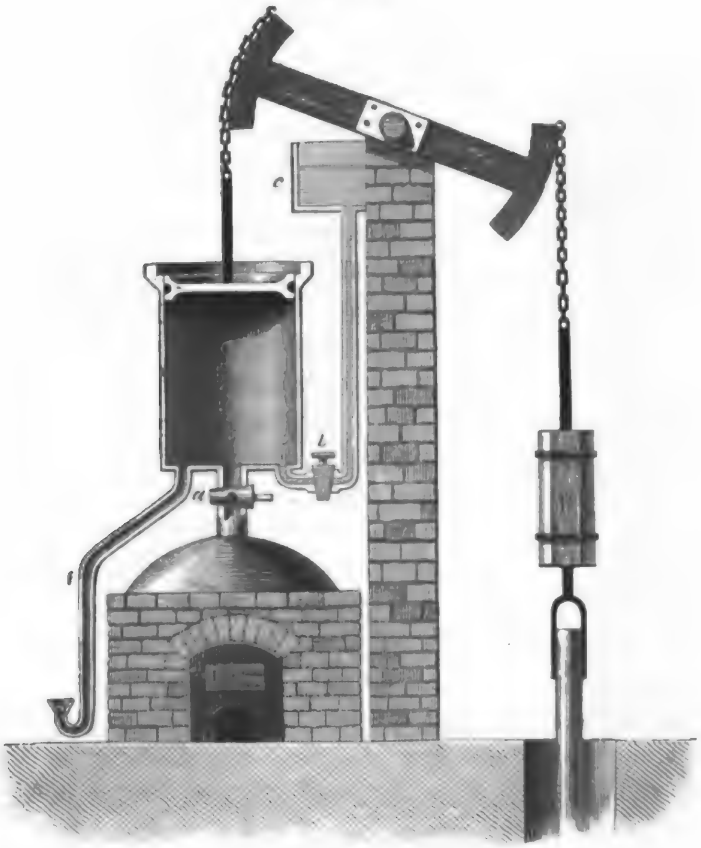
Die erste praktisch angewandte Dampfmaschine construirte Savary im Jahre 1688. Schon früher hatte Salomon de Caus, in einem zu Frankfurt im Jahr 1615 erschienenen Werke, gezeigt, daß man durch den Druck der Dämpfe Wasser über sein früheres Niveau heben, und durch Papin's Versuche war nachgewiesen, daß man durch Condensation der Dämpfe einen leeren Raum erzeugen könne. In Savary's Maschine ist Beides in Anwendung gebracht; das Spiel derselben läßt sich leicht durch den Apparat Fig. 318 anschaulich machen. Ein Glaskolben *a*, welcher etwas Wasser enthält, ist durch einen Korkstopfen verschlossen, durch welchen zwei Glasröhren hindurchgehen; die eine *b*, welche nach unten gebogen ist, ragt nicht weiter in den Ballon hinein, die andere *c*, welche gerade aufsteigt und nur oben etwas umgebogen ist, geht fast bis auf den Boden des Ballons. Das obere Ende der Röhre *c* sey durch einen Korkstopfen verschlossen, so wird, wenn man den Ballon mittelst einer Spirituslampe erwärmt, das Wasser bald in's Kochen kommen, die Dämpfe entweichen durch die Röhre *b* und nehmen auch die Luft im Ballon mit fort. Wenn das Kochen einige Zeit fortgedauert hat, taucht man das untere Ende der Röhre *b* in ein Gefäß mit Wasser und entfernt die Spirituslampe unter dem Ballon. Die Dämpfe in *a* verdichten sich, und die Folge davon ist, daß das Wasser in der Röhre *b* aufsteigt und sich in das Gefäß *a* ergießt. Wenn es etwa bis zur Hälfte gefüllt ist, verschließe man das untere Ende der Röhre *b* mit einem Kork, nehme den Stopfen von *c* weg und bringe von Neuem Feuer unter den Ballon. Die Dämpfe, die sich nun im oberen Theile des Kolbens bilden, können nicht entweichen, sie drücken auf den Spiegel des Wassers und machen, daß es in der Röhre *c* steigt, um oben auszufließen. Durch ein abermaliges Erkalten des Ballons kann man von Neuem Wasser aus einem tieferen Gefäße durch das Saugrohr *b* in den Ballon *a* aufsaugen und durch abermaliges Erwärmen dasselbe noch weiter im Steigrohre *c* heben. — Da die Savary'schen Maschinen nicht mehr angewandt werden, so wird es wohl genügen, das Princip zu erläutern, ohne weiter auf die Beschreibung ihrer Construction einzugehen. Die Savary'schen Maschinen wurden angewandt, um das Grubenwasser aus Bergwerken fortzuschaffen.

Fig. 318.

Zu demselben Zwecke wurde auch Newkomen's atmosphärische 149
Maschine angewandt, welche Fig. 319 (auf folgender Seite) abgebildet ist

Ein Cylinder iſt durch eine Röhre mit dem Dampfkeſſel verbunden, die Verbindung kann jedoch durch einen Hahn *a* nach Belieben unterbrochen

Fig. 319.



und wiederhergeſtellt werden. In dem Cylinder bewegt ſich ein Kolben luftdicht auf und ab. In unſerer Zeichnung hat er gerade ſeine höchſte Stellung erreicht. Wenn der Kolben durch den aus dem Keſſel kommenden Dampf in die Höhe getrieben worden iſt, wird der Hahn *a* geſchloſſen, dagegen ein zweiter Hahn *b* geöffnet, durch welchen nun kaltes Waſſer aus dem Reſervoir *c* in den Cylinder eingeſpritzt wird. Dieſes kalte Waſſer condenſirt die Dämpfe im Cylinder, und der von außen auf den Kolben wirkende Druck der atmoſphäriſchen Luft treibt ihn nieder, wie wir dies ja ſchon an dem Apparate Fig. 317 geſehen haben.

Die auf- und niedergehende Bewegung des Kolbens ſoll aber eine auf- und niedergehende Bewegung einer Pumpenſtange bewirken, und dies geſchieht auf folgende Weiſe. An dem Kolben iſt eine Kette befeſtigt, welche an dem einen Arme eines Balanciers angehängt iſt, an deſſen andern Arme eine ähnliche Kette mit der Pumpenſtange hängt. Durch den Niedergang

des Kolbens wird offenbar die Pumpenſtange gehoben. Wenn aber die Kraft des Dampfes den Kolben aufwärts treibt, ſo kann ſich dieſe Bewegung nicht dem Balancier mittheilen, weil die biegſame Kette dieſelbe nicht fortpflanzt. Der Niedergang der Pumpenſtange kann nur dadurch bewirkt werden, daß die Pumpenſtange ſo ſchwer iſt, daß ſie durch ihr eigenes Gewicht niedergeht, wenn auf der andern Seite des Balanciers keine Kraft entgegenwirkt.

Das Waſſer, welches in den Cylinder eingeſpritzt wird, muß mit dem durch Condenſation des Dampfes entſtandenen fortgeſchafft werden, indem ſich ſonſt bald der ganze Cylinder mit Waſſer füllen würde. Der Abfluß des Waſſers aus dem Cylinder findet nun durch die Röhre *f* Statt, deren unteres Ende, in ein Reſervoir mit Waſſer eintauchend, mit einem Ventil verſehen iſt, welches ſich nach Außen öffnet, nach Innen aber ſchließt. Während der Kolben aufwärts getrieben wird, iſt die Tenſion der Dämpfe im Cylinder größer als der Druck der Atmoſphäre. Dieſer Druck der Dämpfe drückt nun das Waſſer, welches ſich im Cylinder befindet, durch die Röhre *f* (Fig. 319) hindurch gegen das erwähnte Ventil, welches ſich öffnet, um das Waſſer austreten zu laſſen; ſobald aber die Dämpfe condenſirt werden, erhält der atmoſphäriſche Druck das Uebergewicht und ſchließt das Ventil am Ende der Röhre *f*, ſo daß kein Waſſer hier eindringen kann.

Die Waſſermenge, welche durch jeden Hub der Pumpenſtange gefördert werden kann, hängt natürlich von der Größe des Kolbens ab. Bekanntlich drückt die Atmoſphäre auf jedes Quadratcentimeter Oberfläche mit einer Kraft, welche ungefähr dem Gewichte von 1 Kilogramm gleich iſt. Wenn nun die Oberfläche des Kolbens 1000 Quadratcentimeter betrüge, ſo würde noch ein Niedergang des Kolbens erfolgen, wenn die Pumpenſtange ſammt der zu hebenden Waſſermaſſe ein Gewicht von 1000 Kilogr. hat, vorausgeſetzt, daß im Cylinder ein vollkommenes Vacuum erzeugt werden könnte, was nun freilich nicht der Fall iſt.

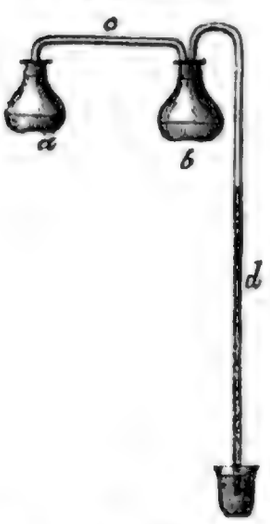
Bei dieſer Maſchine, wie ſie Newkomen conſtruirt hatte, war ſtets eine Perſon beſchäftigt, um die Hähne *a* und *b* zur gehörigen Zeit zu drehen. Ein zu dieſem Geſchäfte angeſtellter Knabe, Humphry Potter, welchem die einförmige Handhabung der Ventile langweilig war, erſann ein Mittel, das Oeffnen und Schließen der Hähne durch die Maſchine ſelbſt bewirken zu laſſen, wodurch wieder ein großer Schritt zur Vervollkommnung der Dampfmaſchinen vorwärts gethan war. Potter band Schnüre an die Hebel, durch welche die Hähne gedreht wurden, und führte ſie zum Balancier, an welchem er ſie dergeſtalt befeſtigte, daß derſelbe, wenn er ſich hob und ſenkte, die Schnüre anzog und die Hähne mit der größten Regelmäßigkeit öffnete und ſchloß.

Newkomen's Maschinen erhielten den Namen atmosphärische, weil das Heben des Wassers durch den Druck der Atmosphäre auf den Kolben bewirkt wurde. Sie waren sehr verbreitet und zwar nicht allein in England, sondern auch auf dem Continente.

Im Vergleich zum verbrauchten Brennmaterial giebt die atmosphärische Maschine doch nur einen sehr geringen Nutzeffect, es wird eine bedeutende Menge Wärme nutzlos verschwendet. Der Grund davon ist leicht einzusehen. Um eine möglichst vollkommene Condensation der Dämpfe im Cylinder zu erhalten, muß eine ziemlich bedeutende Menge kalten Wassers eingespritzt werden, dadurch aber werden die Cylinderwände selbst erkaltet. Wenn nun der Hahn *b* geschlossen und *a* wieder geöffnet wird, so kommen die aus dem Kessel aufsteigenden Dämpfe mit den kälteren Wänden in Berührung, sie werden verdichtet und können mithin nichts zur Hebung des Kolbens beitragen, eine bedeutende Menge Dampf wird also lediglich dazu verschwendet, die Cylinderwände allmälig wieder zu erwärmen, damit diese Wärme beim abermaligen Niedergange des Kolbens wieder verloren geht.

150 Jakob Watt war im Winter 1763 beauftragt worden, das Modell einer atmosphärischen Maschine, welches der Universität zu Glasgow gehörte, auszubessern. Als er mit dem Modell Versuche anstellte, sah er ein, daß die Maschine bei weitem mehr Dampf verbrauche, als zum Spiele des Kolbens nöthig sei. Er sann darüber nach, wie dem Uebelstande abzuhelfen sei, und kam auf den glücklichen Gedanken, einen von dem Cylinder abgesonderten Condensator anzubringen, und somit war der erste Schritt in der glänzenden Laufbahn gethan, die Watt's Namen unsterblich macht.

Fig 320.



Die Function des Condensators läßt sich durch den Fig. 320 abgebildeten einfachen Apparat recht anschaulich machen. Zwei Glaskölbchen *a* und *b*, welche beide etwas Aether enthalten, sind durch eine Röhre *c* verbunden; durch den Kork, welcher *b* verschließt, geht eine zweite abwärts gebogene Röhre *d*. Wenn man den Aether in *a* und *b* ins Kochen bringt (es geschieht dies am besten dadurch, daß man sie in heißes Wasser taucht), so entweichen die Dämpfe durch die Röhre *d* (Fig. 320) und nehmen die Luft aus dem Apparate mit fort. Nun taucht man das untere Ende der Röhre *d* in ein Gefäß mit Quecksilber und entfernt die Wärmequellen, welche den Aether ins Kochen gebracht hatten. Alsbald wird *a* und *b* bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet seyn, die Spannkraft der Dämpfe im Apparat nimmt dabei bis zu

einer bestimmten Grenze ab, und das Queckſilber ſteigt demnach in der Röhre *d* bis zu einer beſtimmten Höhe. Wäre z. B. die Temperatur der umgebenden Luft 20°, ſo wäre die Spannkraft der Dämpfe im Apparate 378^{mm}, das Queckſilber müßte alſo in der Röhre bis zu einer Höhe von 382 ^{mm} ſteigen. Wenn man nun die eine der beiden Kugeln, etwa *a*, in kaltes Waſſer taucht, ſo wird das Queckſilber in der Röhre *d* augenblicklich gerade ſo ſteigen, als ob man auch die Kugel *b* und den ganzen Apparat eben ſo ſtark erkaltet hätte. Hätte z. B. das kalte Waſſer, in welches der Kolben *a* eingetaucht wurde, die Temperatur von 10° gehabt, während die der Luft 20° beträgt, ſo würde die Queckſilberſäule in der Röhre *d* von 382^{mm} ſchnell noch um 141, alſo zu einer Höhe von 523^{mm} geſtiegen ſeyn, weil die Spannkraft des geſättigten Aetherdampfes für die Temperatur von 10° gleich 237^{mm} iſt. Kurz, dadurch, daß der Ballon *a* erkaltet wird, werden hier die Dämpfe condenſirt und die Tenſion der Dämpfe im ganzen Apparate gerade um eben ſo viel verringert, als ob der ganze Apparat eben ſo ſtark erkaltet worden wäre, obgleich die Temperatur der Wände des Ballons *b* und des übrigen Apparates, *a* ausgenommen, nicht geändert wurde. Der Ballon *a* ſpielt hier die Rolle eines Condenſators, eines Verdichters der Dämpfe.

Denken wir uns mit dem Cylinder einen luftdicht verſchloſſenen Raum durch eine Röhre in Verbindung geſetzt, welcher eben ſo wie der Cylinder ſelbſt mit Dampf erfüllt iſt; nun werde in dieſen Raum, den Condenſator, kaltes Waſſer eingeſpritzt, ſo werden hier die Dämpfe verdichtet, hier und im Cylinder ſelbſt wird die Spannkraft der Dämpfe in gleichem Maaße vermindert, ohne daß dadurch die Cylinderwände im mindeſten erkaltet werden.

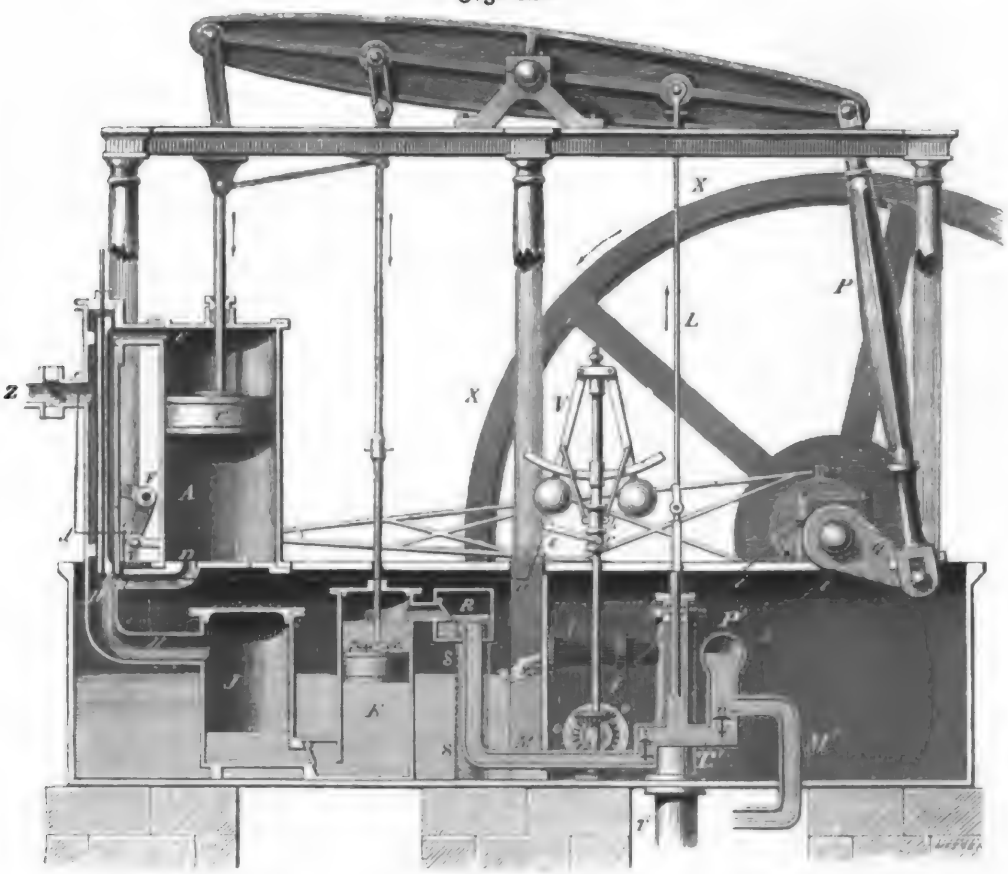
Um das Waſſer aus dem Condenſator wegzuſchaffen, brachte Watt eine Pumpe an, deren Stange an den Balanciers angehängt und alſo durch die Maſchine ſelbſt in Bewegung geſetzt wurde. Es folgte nun eine Verbeſſerung auf die andere, bis endlich die Watti'ſche Dampfmaſchine vollendet daſtand, wie wir ſie in Fig. 321 dargeſtellt ſehen.

Der Cylinder *A* iſt ſowohl unten als oben luftdicht verſchloſſen, ſo daß von keiner Seite die atmoſphäriſche Luft auf den Kolben *C* drücken kann. Der Dampf, welcher aus dem Keſſel durch die Röhre *Z* der Maſchine zugeführt wird, tritt abwechſelnd bei *E* und bei *D* in den Cylinder. Wie dieſe Abwechſelung hervorgebracht wird, werden wir bald ausführlicher betrachten. In der Stellung der Maſchine, wie ſie unſere Figur zeigt, tritt der Dampf oben bei *E* ein. Der Dampf im untern Theile des Cylinders entweicht bei *D*, um durch die Röhre *H* nach dem Condenſator *I* zu gelangen, wo er verdichtet wird; oben drückt alſo der Dampf auf den Kol-

den *C*, unter demſelben iſt ein verdünnter Raum, der Kolben iſt alſo im Niedergange begriffen.

Man hat verſchiedene Vorrichtungen erſonnen, um zu machen, daß der

Fig. 321.



Dampf abwechſelnd oben und unten in den Cylinder eintritt, während der Dampf von der andern Seite des Kolbens nach dem Condenſator entweicht. Die einfachſte dieſer Einrichtungen iſt der Vierweghahn, ein Hahn, welcher durchbohrt iſt, wie Fig. 322 zeigt. Die Röhre *K* führe nach dem Keſſel, *C* nach dem Condenſator, *O* nach dem obern, *U* nach dem untern Theile des Cylinders. Wenn nun der Vierweghahn die Stellung Fig. 322 hat, ſo ſtrömt der Dampf aus dem Keſſel in den obern Theil des Cylinders, während der untere Theil deſſelben durch die Röhren *U* und *C* mit dem Condenſator verbunden iſt. Iſt der Kolben im Cylinder unten angekommen, ſo wird der Vierweghahn durch eine Viertelumdrehung

Fig. 322.

Fig. 323.

in die Stellung Fig. 322 gebracht. Nun sind die Röhren *K* und *U* verbunden, der Dampf strömt also unten ein, aus dem obern Theile des Cylinders entweicht er aber durch die Röhren *O* und *C* nach dem Condensator, jetzt also findet eine aufwärts gerichtete Bewegung des Kolbens Statt.

Fig. 324.

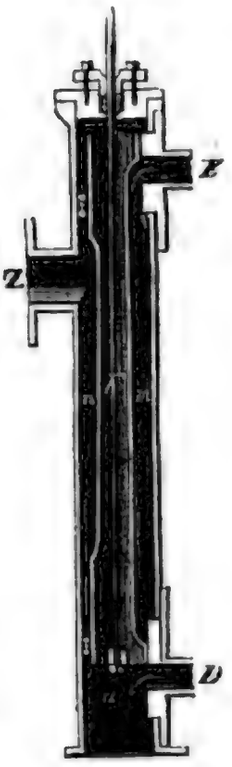
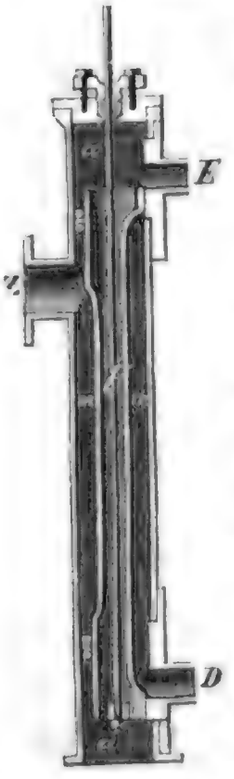


Fig. 325.

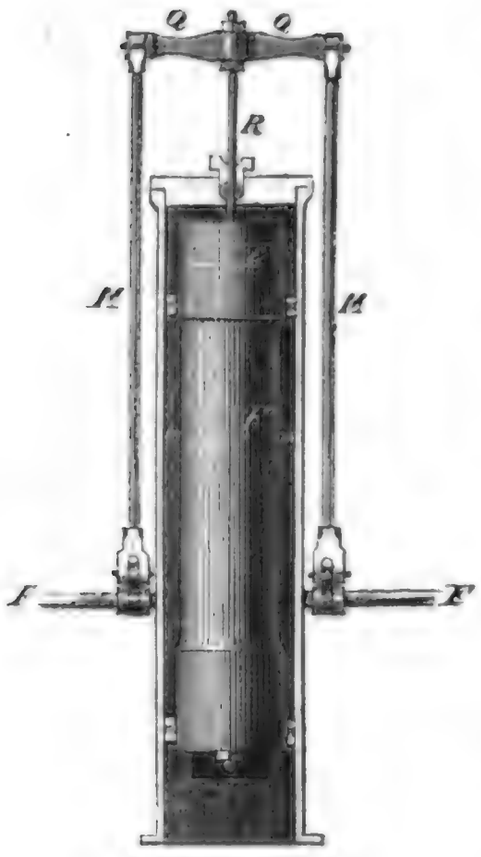


Der Vierweghahn hat sich für größere Maschinen nicht als praktisch bewährt; man kann nämlich die Kanäle des Hahns nicht leicht weit genug machen, damit sie die nöthige Menge Dampf durchlassen. Am häufigsten wendet man jetzt das Schieberventil an, welches auch in unserer Maschine angebracht, und welches Fig. 324 u. 325 in seinen beiden äußersten Stellungen in größerm Maaßstabe dargestellt ist. Durch die Röhre *Z* gelangt der Dampf in ein Behälter, aus welchem die Röhren *D* und *E* nach dem Cylinder führen. Dies Behälter ist nun durch den Schiebkasten *F* in zwei ganz abgesonderte Räume getheilt. Der mittlere Theil *m* des Behälters nämlich ist von dem obern *a'* und dem untern *a* gänzlich abgeschlossen, die Räume *a'* und *a* aber sind durch die Höhlung des Schiebkastens selbst verbunden. In den Raum *m* strömt nun stets der Dampf aus dem Kessel, die Räume *a'* und *a* sind fortwährend mit dem Condensator in Verbindung. Hat das Schiebkastenventil die Stellung Fig. 324, so strömt der Dampf aus *m* durch den Kanal *E* oben in den Cylinder ein; durch den Kanal *D* aber gelangt der Dampf unter den Kolben nach *a* und von da nach dem Condensator. Hat aber der Schiebkasten die Stellung Fig. 325, so strömt der Dampf aus *m* durch *D* von unten in den Cylinder ein, der Dampf über dem Kolben aber geht durch *E* nach *a'*, von da durch den Schiebkasten hindurch nach *a*, um endlich in den Condensator zu gelangen.

Damit man sich von dem Schieberventil eine ganz richtige Vorstellung machen könne, ist dasselbe in Fig. 326 in der Richtung von *Z* her gesehen dargestellt. Die Art und Weise, wie der Schieber durch die Maschine selbst auf- und niedergezogen wird, soll weiter unten noch betrachtet werden.

Der Condensator *I*, Fig. 321, steht in einem zum Theil mit kaltem Wasser gefüllten Behälter, aus welchem dasselbe fortwährend durch eine Oeff-

Fig. 326.



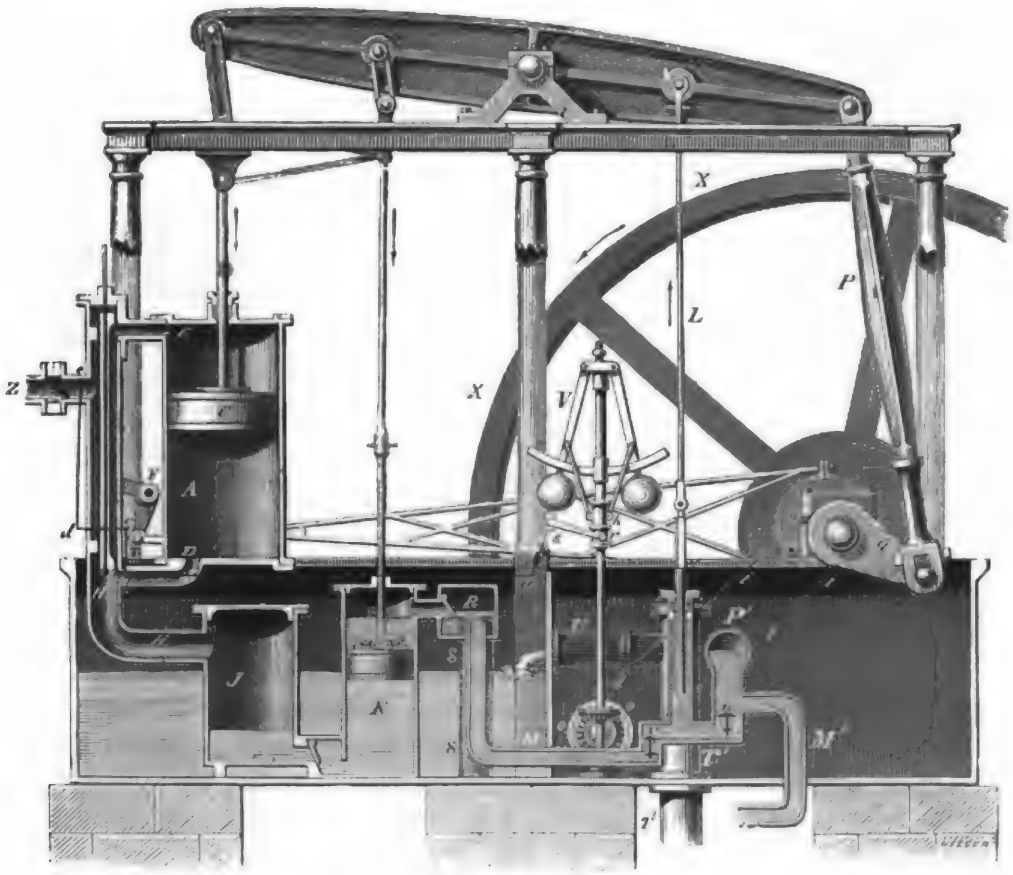
nung, die in unserer Figur nicht sichtbar ist, in den Condensator einströmt. Die Menge des hier einströmenden Wassers kann durch einen Hahn nach Bedürfniß vermehrt oder vermindert werden. Durch die Pumpe *K* wird das Wasser aus dem Condensator fortgeschafft. — Bekanntlich ist in allem Wasser immer mehr oder weniger Luft absorbirt, die im Dampfkessel frei wird und mit den Wasserdämpfen den Weg durch die Maschine in den Condensator macht. Ebenso entwickelt sich Luft aus dem kalten Wasser, welches in den Condensator einströmt. Die Wasserdämpfe werden hier verdichtet, während diese Luft im gasförmigen Zustande bleibt. Diese Luft würde sich nun nach und nach im Condensator anhäufen und so die Erzeugung eines Vacuums auf der einen Seite des Kolbens unmöglich machen, wenn sie nicht ebenfalls durch die Pumpe *K* fortgeschafft würde, die eben deshalb auch den Namen der Luftpumpe führt.

Durch die Luftpumpe wird das Wasser aus dem Condensator in den Behälter *R* gebracht, aus welchem es größtentheils durch die Röhre *S* abfließt. Die Wärme, welche beim Verdampfen des Wassers im Kessel gebunden wurde, wird bei der Verdichtung der Dämpfe im Condensator wieder frei; diese frei werdende Wärme erhöht die Temperatur des in den Condensator eingespritzten kalten Wassers; das durch die Pumpe *K* nach *R* geschaffte Wasser ist also warm; es ist deshalb vortheilhaft, dieses Wasser anstatt des kalten zur Speisung des Dampfkessels anzuwenden. Das zur Speisung des Kessels nöthige Wasser gelangt durch die Röhre *M* zu einer Pumpe, welche es durch die Röhre *M'* zum Kessel schafft. Diese Pumpe wird, wie auch die Luftpumpe, durch die Maschine selbst in Bewegung gesetzt; die Pumpenstange *L* ist nämlich an den Balancier angehängt und wird gehoben, wenn der Kolben *C* niedergeht; niedergedrückt, wenn *C* aufsteigt. Wenn der an der Stange *L* befestigte Kolben der Warmwasserpumpe in die Höhe geht, so öffnet sich das Saugventil *v*, beim Niedergange des Kolbens öffnet sich das Ventil *n*.

Auf der andern Seite des Balanciers ist gerade hinter *L* eine andere

Pumpenſtange angebracht, durch welche kaltes Waſſer in die Röhre T' ge-

Fig. 327.



hoben und durch die U in das Behälter gebracht wird, in welchem der Condenſator ſteht.

Betrachten wir nun, wie die auf- und niedergehende Bewegung des 151
Kolbens C fortgepflanzt wird.

Die Kolbenſtange bewegt ſich luft- und dampfdicht durch die Stopfbüchſe, welche ſich in der Mitte des obern Deckels des Cylinders befindet; ſie iſt durch ein Syſtem beweglicher Stangen, welches den Namen des Parallelogramms führt, mit dem einen Ende des Balanciers verbunden. Der Zweck dieſes Parallelogramms iſt kein anderer, als eine vollkommen vertikale Bewegung der Kolbenſtange zu ſichern, was ganz unmöglich wäre, wenn die Kolbenſtange direct an das Ende des Balanciers befeſtigt wäre; ſie würde in dieſem Falle abwechſelnd etwas links und rechts gezerrt werden, und in Folge deſſen würde die Stopfbüchſe ſo leiden, daß bald der luftdichte Verſchluß aufhören müßte.

Das eine Ende des Balanciers wird durch die Kolbenſtange abwechſelnd auf- und niedergezogen, das andere Ende des Balanciers hat aber ſtets die entgegengeſetzte Bewegung, d. h. wenn der Kolben *C* ſteigt, geht der rechte Arm des Balanciers nieder, und umgekehrt. Die auf- und niedergehende Bewegung des Balanciers wird durch die Treibſtange *P* und die Kurbel *Q* in eine ſtetige kreisförmige Bewegung umgewandelt. Die Achſe der Kurbel *Q* iſt die Hauptachſe der Maſchine, welche in Bewegung geſetzt werden ſoll; um dieſe Axe dreht ſich auch das Schwungrad *X*.

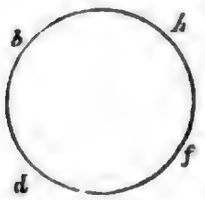
Die Bewegung des Kolbens *C* iſt ſehr ungleichförmig. Da derſelbe am obern und untern Ende des Cylinders zur Ruhe kommt und dann ſeine Bewegung umkehrt, ſo iſt begreiflich, daß er ſeinen Lauf nicht mit gleichförmiger Geſchwindigkeit zurücklegen kann. Seine Geſchwindigkeit iſt am größten, wenn er eben die Mitte des Cylinders paſſirt, ſie nimmt um ſo mehr ab, je mehr er ſich einem Ende des Cylinders nähert. Betrachten wir nun die Bewegung der Kurbel, ſo finden wir, daß bei gleichförmiger Umdrehungsgeſchwindigkeit die Bewegung in vertikalem Sinne dennoch ſehr veränderlich iſt. Der Kurbelarm ſteht wagerecht, wenn der Kolben *C* ſich in der Mitte des Cylinders befindet, in dieſem Momente hat die Bewegung der Kurbel eine vertikale Richtung; wenn aber der Kolben *C* ſeine höchſte oder tiefſte Stellung hat, ſo bewegt ſich die Kurbel in horizontaler Richtung. Der vertikale Antheil der Kurbelbewegung iſt der Bewegung des Kolbens ganz gleich, in dem Maaße, in welchem die Kurbelbewegung mehr horizontal wird, nimmt die Geſchwindigkeit des Kolbens ab, ohne daß dadurch eine Verminderung in der Umdrehungsgeſchwindigkeit der Kurbel erfolgte.

Der Durchmeſſer der Kurbelbahn iſt begreiflicherweiſe der Höhe des Cylinders, die Dicke des Kolbens abgerechnet, gleich, vorausgeſetzt, daß die beiden Arme des Balanciers gleiche Länge haben; die Länge des Kurbelarms iſt demnach der halben Hubshöhe des Kolbens gleich.

Das Schwungrad *X* dient dazu, die Bewegung der Maſchine gleichförmig zu erhalten. Wenn auch der Druck des Dampfes auf den Kolben ganz unveränderlich wäre, ſo würde er doch nicht bei allen Stellungen der Kurbel gleichviel zu deren Umdrehung beitragen können. In der That kann man den Druck, welcher durch die Treibſtange *P* auf die Kurbel wirkt, in zwei zu einander rechtwinklige Kräfte zerlegt denken, die eine in der Richtung der Kurbel ſelbſt, als Druck auf die Achſe wirkend, trägt nichts zur Umdrehung bei; dieſe wird ganz allein durch die andere tangential zur Kurbelbahn wirkende hervorgebracht. Die Größe dieſer beiden Kräfte ändert ſich aber in jedem Momente. Wenn der Kurbelarm vertikal ſteht, wirkt jeder Druck, welcher vom Kolben ausgeht, einzig und allein als Druck auf die Kurbelachſe. Wenn in dieſer Stellung die Maſchine ſtill-

ſtände, ſo würde der größte Druck auf den Kolben ſie nicht in Bewegung ſetzen können; daß alſo die Maſchine, indem ſie in dieſe Stellung kommt, nicht abſolut ſtillſtehen bleibt, rührt einzig und allein daher, daß die einzelnen Maſchinentheile vermöge ihrer Trägheit ihre Bewegung fortſetzen, gerade ſo wie ein Pendel, wenn es in der Ruhelage ankommt, doch vermöge ſeiner Trägheit die Bewegung fortſetzt. Hat einmal die Kurbel die vertikale Stellung paſſirt, ſo wird derjenige Antheil des durch P fortgepflanzten Druckes, welcher die Umdrehung der Kurbel bewirkt, mehr und mehr wachſen und erreicht ſein Maximum, wenn der Kurbelarm wagerecht iſt. Die Kraft alſo, welche die Kurbel umdreht, variirt beſtändig, während einer ganzen Umdrehung wird ſie zweimal Null, wenn nämlich der Kurbelarm ſeine höchſte und ſeine tiefſte Stellung einnimmt, und zweimal erreicht ſie ein Maximum. Unterſucht man nun die Bewegung, welche durch eine ſo wechſelnde Kraft hervorgebracht wird, ſo ſieht man leicht ein, daß ſie nur eine abwechſelnd beſchleunigte und verzögerte ſeyn kann. Der Kreis Fig. 328 ſtelle die Kurbelbahn vor, ſo ſieht man, daß während der Bewegung von b bis d eine Beſchleunigung erfolgt, weil hier die bewegende Kraft mit ihrer größten Energie wirkt. Die in den Maſchinentheilen gleichſam angehäufte Bewegung muß aber abnehmen, während ſich der Kurbelarm von d bis f bewegt, weil unterdeß die bewegende Kraft ſehr ſchwach, ja ſogar vollkommen Null wird, und alſo die Bewegungshinderniſſe eine Verzögerung bewirken; auf dem Wege von f bis h erfolgt eine neue Beſchleunigung, von h bis b eine neue Verzögerung.

Fig. 328.



Dieſe Abwechſelungen in der Kurbelbewegung liegen in der Natur der Sache, abſolut können ſie nicht vermieden werden. Die Differenzen zwiſchen der größten und der geringſten Geſchwindigkeit werden aber um ſo kleiner werden, je größer die bewegte träge Maſſe iſt; durch ein hinlänglich großes Schwungrad kann man es dahin bringen, daß dieſe Differenzen in der Umdrehungsgeſchwindigkeit ſo unbedeutend werden, daß ſie keinen nachtheiligen Einfluß mehr haben. Die auf dem Wege von b bis d und von f bis h ſtärker wirkende Kraft kann keine merkliche Vermehrung der Geſchwindigkeit bewirken, weil ſie eine ſehr bedeutende träge Maſſe bewegen muß; weil aber im Schwungrade gleichſam eine bedeutende Bewegungsquantität angehäuft iſt, ſo iſt doch die Abnahme der Bewegungsquantität, während die Kurbel von d bis f oder von h bis b geht, nicht groß genug, um eine merkbare Verminderung der Geſchwindigkeit zu veranlaſſen.

So gleicht das Schwungrad die Ungleichförmigkeit der Bewegung aus, welche in der Einrichtung der Maſchine ſelbſt liegt. Die Arbeit, welche

eine Dampfmaſchine zu verrichten hat, welcher Art ſie auch ſeyn mag, ſetzt nie einen abſolut gleichförmigen Widerſtand der bewegenden Kraft entgegen, und auch dies würde Ungleichförmigkeiten im Gange der Maſchine veranlaſſen, wenn ſie nicht ebenfalls durch das Schwungrad ausgeglichen würden.

Wenn die zu verrichtende Arbeit, der zu überwindende Widerſtand im Allgemeinen ab- oder zunimmt, ſo iſt die Folge davon, daß der Gang der Maſchine ſchneller oder langſamer wird. Momentane kurz dauernde Störungen der Art werden ſchon durch das Schwungrad ausgeglichen; eine allgemeine Verminderung des Widerſtandes und der Laſt aber würde bei unverändertem Zufluſſe des Dampfes eine immer zunehmende Beſchleunigung des Ganges der Maſchine zur Folge haben. Damit nun die Geſchwindigkeit nicht über eine gewiſſe Grenze wachſen kann, muß im Dampfzuflußrohre eine Klappe angebracht ſeyn, durch deren Drehung dem Dampfe der Weg mehr oder weniger verſperrt wird, je nachdem die Klappe mehr und mehr aus der horizontalen Lage (der vollkommnen Oeffnung) in die vertikale (den vollkommnen Verſchluß) übergeht. Die Drehung dieſer Klappe muß aber durch die Maſchine ſelbſt beſorgt werden, und dies geſchieht durch eine Vorrichtung, welche den Namen Regulator führt.

Um die Umdrehungsaxe des Schwungrades und um eine vertikale Rolle *o* Fig. 327 iſt eine etwas geſpannte Schnur *i* geſchlungen, ſo daß die Umdrehung der Hauptachſe die Umdrehung der Scheibe *o* zur Folge hat. An der Achſe der Scheibe *o* iſt aber ein vertikales coniſches Rad befeſtigt, deſſen Zähne in ein ähnliches horizontal ſtehendes eingreifen, ſo daß dieſes horizontale Rad um ſeine vertikale Achſe umgedreht wird. Dieſe vertikale Achſe iſt in eine Stange verlängert, an deren oberm Ende das coniſche Pendel *V* angebracht iſt.

Das coniſche Pendel *V* beſteht aus zwei ſchweren Kugeln, welche an dem obern Ende der vertikalen Stange ſo befeſtigt ſind, daß bei einer raſchen Umdrehung dieſer Stange die beiden Kugeln vermöge ihrer Centrifugalkraft auseinanderfahren. Die Stangen, an welchen die Kugeln hängen, ſind durch die Stäbe mit einer Hülſe *h* verbunden, welche den vertikalen Stab umſchließt. Sobald die Kugeln auseinanderfahren, wird die Hülſe *h* gehoben. Durch das Heben dieſer Hülſe wird der Winkelhebel *r s a* um die Axe *s* gedreht, die Stange *a b* nach der rechten Seite gezogen, dadurch wird der Winkelhebel *b c d* um die Axe *c* gedreht, wodurch endlich die Stange *e d* niedergezogen wird; *e* aber iſt der Endpunkt eines Hebelarms, deſſen Drehaxe diejenige Axe iſt, um welche ſich die Klappe im Rohre *Z* dreht; durch das Niederziehen des Punktes *e* wird die Klappe verſchloſſen. Das ganze Hebelſyſtem, von welchem ſo eben die

Rede war, ist in unserer Figur nur durch Linien angedeutet, weil es sich auf der Vorderseite der Maschine befindet, also hier eigentlich gar nicht sichtbar ist, indem unsere Figur einen Durchschnitt der Maschine darstellt.

Das Drehen des Vierweghahns oder das Auf- und Niederziehen des 152
Schieberventils, kurz die Bewegung derjenigen Apparate, welche dazu dienen, den Dampf abwechselnd in den obern oder in den untern Theil des Cylinders zu führen, muß durch die Maschine selbst verrichtet werden. Die Vorrichtung, welche diese Bewegung hervorbringt, wird mit dem Namen der Steuerung bezeichnet.

Der wichtigste Theil der äußeren Steuerung ist die excentrische

Fig. 329.

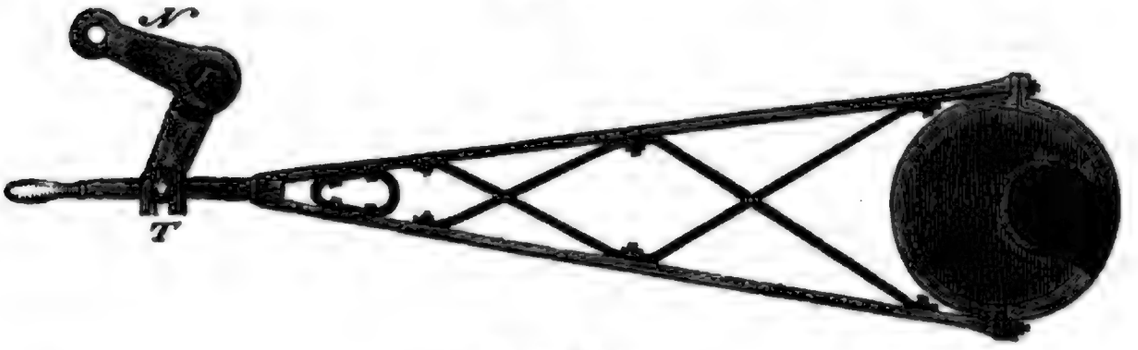
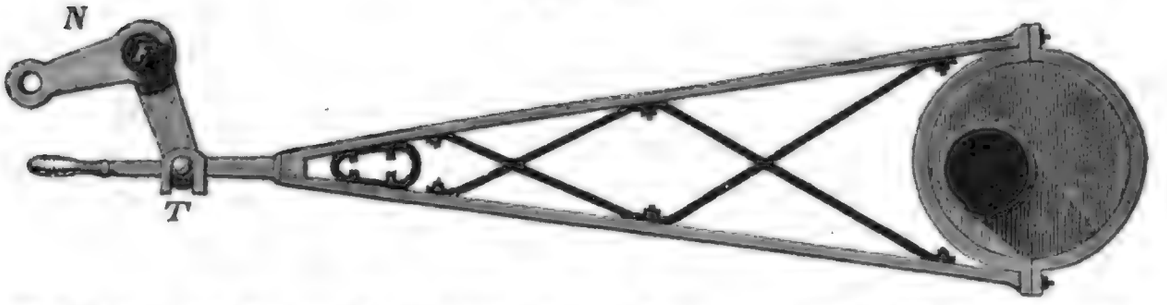


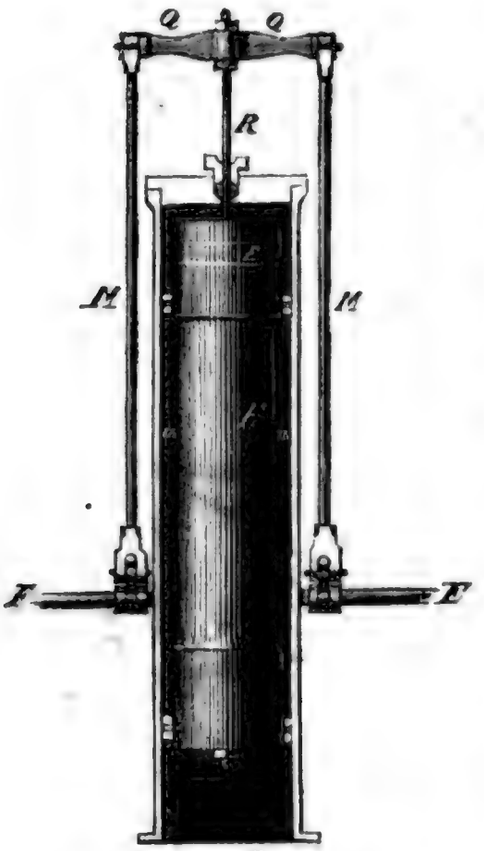
Fig. 330.



Scheibe, welche in Fig. 327 mit *y* bezeichnet ist. Die excentrische Scheibe ist eine kreisförmige Scheibe, welche an der Axe des Schwungrades befestigt ist, deren Mittelpunkt aber nicht mit dem Mittelpunkte der Umdrehung zusammenfällt, wie man aus Fig. 329 deutlicher sehen kann. Während jeder Umdrehung der Axe beschreibt der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe einen Kreis. Um den Umfang der excentrischen Scheibe ist nun ein Ring gelegt, der sich nach der einen Seite in ein Gestänge verlängert, dessen Ende bei *T* in einen Hebelarm eingreift, der um eine feste Axe *F* drehbar ist. Die Entfernung des Mittelpunktes der excentrischen Scheibe von *T* ist unveränderlich, während einer ganzen Umdrehung der Hauptaxe muß also der Hebelarm *FT* aus der Lage Fig. 329 in die Lage Fig. 330 und zurückkommen, die Sehne des Bogens, welche auf diese Weise den Punkt *T* beschreibt, ist aber offenbar dem Durchmesser des Kreises gleich, welchen der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe beschreibt.

Die Axſe *F* geht durch die ganze Breite der Maſchine durch, wie man dies deutlicher aus Fig. 331 ſieht, wo dieſe Axe in ihrer ganzen Länge erſcheint. An dieſer Axe ſind zwei vollkommen gleiche und parallele Hebelarme *N* befeſtigt, welche ſich zu beiden Seiten des Behälters befinden, in welchem das Schieberventil eingeſchloſſen iſt. In Fig. 329 ſieht man nur den einen derſelben, und zwar in ſeiner wahren Geſtalt, in Fig. 331 aber beide verkürzt. An jedem dieſer beiden Hebelarme iſt eine vertikal nach oben gerichtete Stange *M* befeſtigt, und oben ſind dieſe durch eine horizontale Querſtange *Q* verbunden, an deren Mitte die Stange *R* hängt, an welcher das Schieberventil befeſtigt iſt. Dieſe Stange geht luft- und dampfdicht durch eine Stopfbüchſe in das Behälter des Schieberventils. Die Bewegung des Hebelarms *N* bewirkt durch die Stangen *M* eine abwechſelnde Hebung und Senkung der Querſtange *Q*, wodurch dann auch das Schieberventil auf- und niedergezogen wird.

Fig. 331.

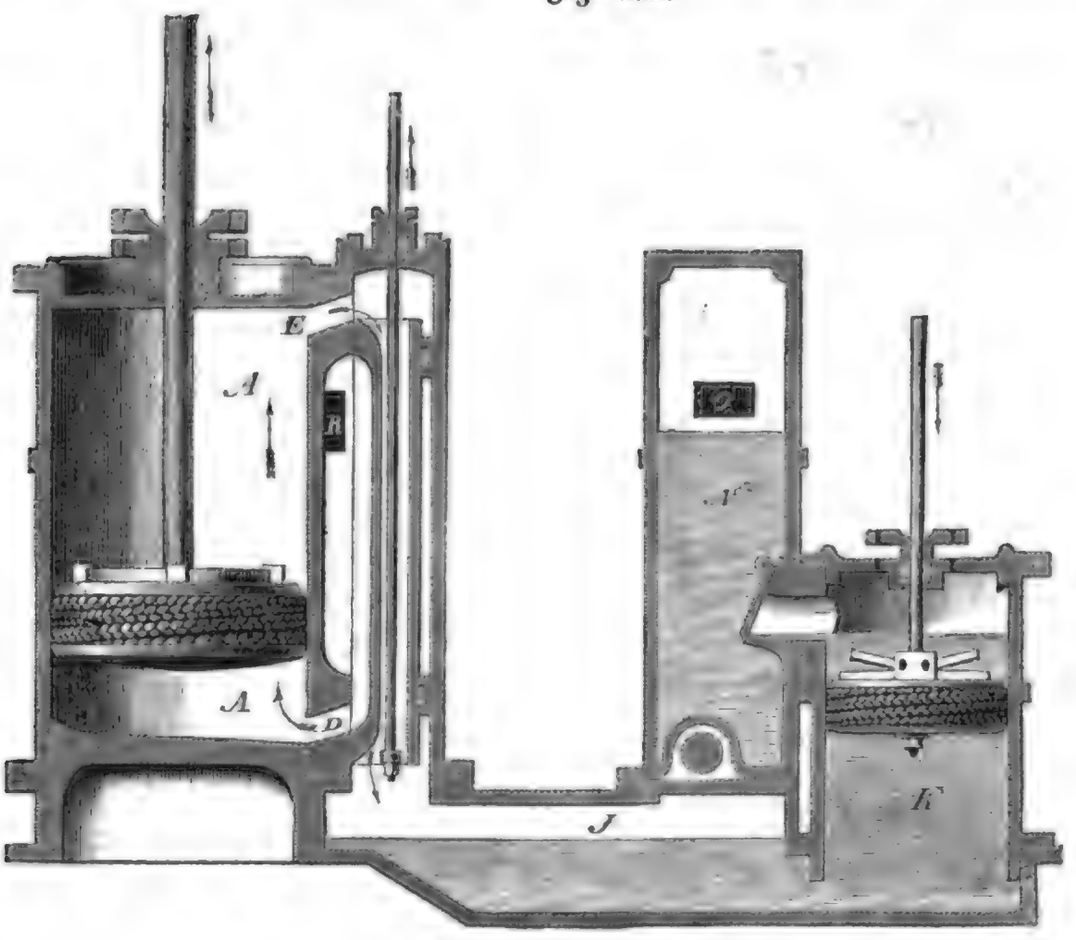


Damit die Bewegung des Schiebkaſtenventils immer in der richtigen Beziehung zum Gange der Maſchine ſteht, muß ſich der Mittelpunkt der excentriſchen Scheibe entweder gerade auf derſelben Seite von der Hauptaxe befinden wie die Kurbel, oder ihr diametral gegenüberſtehen. Letzteres iſt gewöhnlich der Fall, ſo auch bei der Fig. 327 abgebildeten Maſchine. Wenn der Kurbelarm nach oben gerichtet iſt, liegt alſo der Mittelpunkt der excentriſchen Scheibe unter der Hauptaxe; wenn der Kurbelarm nach der linken Seite ſteht, befindet ſich jener Mittelpunkt auf der rechten Seite u. ſ. w. Betrachten wir die Maſchine in einem Momente, in welchem der Kurbelarm gerade horizontal und nach der rechten Seite hin gerichtet iſt, ſo hat der Punkt *T*, Fig. 327, ſeine äußerſte Stellung links erreicht, das Schieberventil hat aber ſeine höchſte Stellung, der Dampf ſtrömt alſo durch die vollkommen freie Oeffnung in den Cylinder ein. Fragen wir aber nach der Stellung, welche der Kolben *C*, Fig. 329, in dieſem Momente hat, ſo finden wir, daß er nach unten gehend gerade die Mitte des Cylinders paſſirt. Je mehr der Kolben niedergeht, deſto mehr ſteigt der Kurbelarm,

dabei wird aber auch die excentriſche Scheibe gedreht, der Punkt T alſo nach der rechten Seite hingezogen. Anfangs iſt dieſe Bewegung unbedeutend, ſie nimmt aber zu, je mehr ſich der Kurbelarm der vertikalen Stellung nähert. Hat er dieſe erreicht, ſo ſteht auch der Hebelarm FT, Fig. 329, vertikal, das Schieberventil hat gerade ſeine mittlere Stellung, es verſchließt die beiden Oeffnungen D und E, und der Kolben iſt gleichzeitig unten angekommen. Bei fortgeſetzter Bewegung beginnt der Kolben alsbald langſam zu ſteigen, der Kurbelarm bewegt ſich mehr nach der linken, die excentriſche Scheibe ſammt dem Punkte T alſo mehr nach der rechten Seite, das Schieberventil geht alſo noch weiter nieder, Dampf beginnt in den untern Theil des Cylinders einzutreten und den Kolben aufwärts zu treiben u. ſ. w. Kurz, wir ſehen, die Oeffnungen E und D ſind nur einen Moment vollkommen frei, wenn der Kolben gerade die Mitte des Cylinders paſſirt, wo er alſo auch die größte Geſchwindigkeit hat. Je mehr die Geſchwindigkeit abnimmt, deſto mehr werden die Oeffnungen D und E geſperrt, und ein vollkommner Verſchluß findet in dem Augenblicke Statt, in welchem der Kolben gerade im oberſten oder unterſten Endpunkte ſeines Weges angelangt iſt.

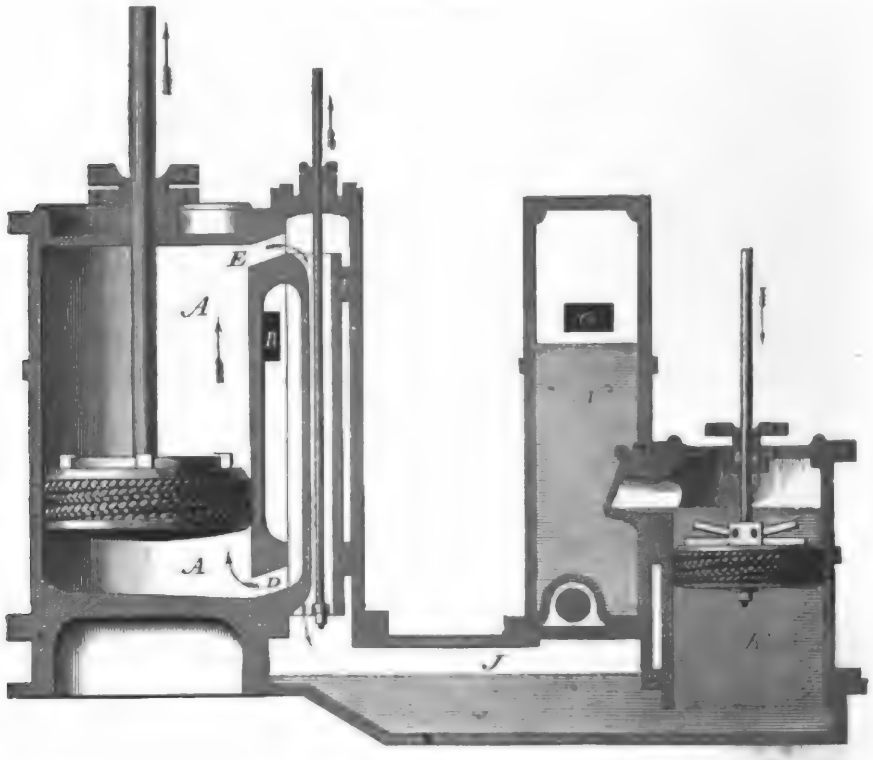
Die Schiffsdampfmaſchine iſt im Weſentlichen ganz nach denſel- 153
ben Principien conſtruirt, wie die eben betrachtete Watti'ſche Maſchine. Fig. 332 ſtellt den Durchſchnitt einer gewöhnlichen Schiffsdampfmaſchine dar.

Fig. 332.



Der Dampf kommt durch eine Röhre, die bei *R* in einen neben dem Cylinder befindlichen Raum mündet. Aus dieſem Raume dringt der Dampf abwechſelnd in den obern und den untern Theil des Cylinders *A*. Dieſe Abwechſelung im Einſtrömen des Dampfes wird durch ein Schieberventil bewerkſtelligt, deſſen Einrichtung der auf Seite 375 betrachteten ganz ähnlich iſt. Bei der in unſerer Figur dargeſtellten Stellung des Schieberventils tritt der Dampf unten bei *D* in den Cylinder, während der oberhalb des Kolbens befindliche Dampf, bei *E* austretend, durch die

Fig. 333.



innere Höhlung des Schieberventils nach dem Condenſator *I* entweicht. Das Waſſer aus dem Condenſator wird durch die Luftpumpe *K* in den Raum *N* geſchafft, aus welchem es durch die Oeffnung *O* abfließt.

Was den äußern Bau der Schiffsmaſchine betrifft, ſo iſt eine Verſchiedenheit von der bisher betrachteten Maſchine dadurch bedingt, daß die Hauptaxe, auf welche die Bewegung des Kolbens übertragen werden ſoll, die Axe der Schaufelräder iſt, deren unterer Theil nur in das Waſſer eingetaucht ſeyn darf. Die Axe dieſer Räder muß ſich deshalb in einer namhaften Höhe über dem Waſſerſpiegel befinden. Wollte man aber den Balancier und die Treibſtange ſo anbringen, wie bei der gewöhnlichen

Watt'ſchen Maſchine, ſo käme dieſe Axe zu tief zu liegen. Deshalb iſt hier der Balancier unten angebracht und die Treibſtange nach oben gerichtet.

Fig. 334 zeigt eine Schiffsdampfmaſchine im Aufriſſe, Fig. 335 im

Fig. 334.

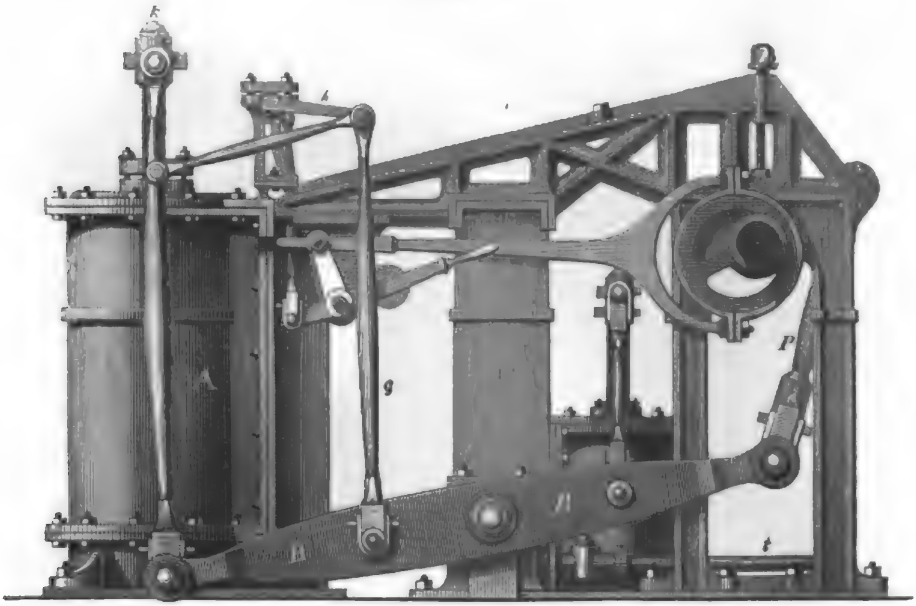
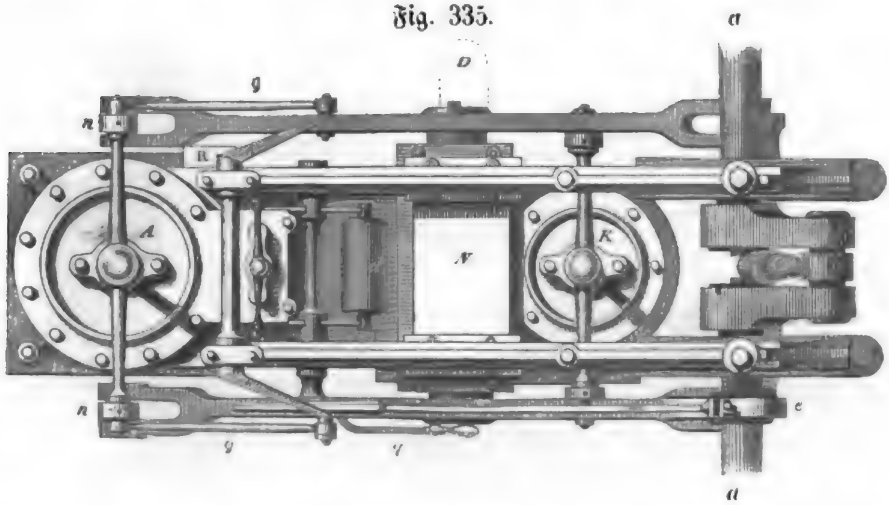


Fig. 335.



Grundriſſe. *A* iſt der Cylinder. Das obere Ende der Kolbenſtange iſt an einem horizontalen Querſtabe ungefähr ſo befeſtigt, wie die Stange *R* an *Q*, Fig. 326. Dieſe Querſtange iſt im Grundriſſe Fig. 335 ihrer ganzen Länge nach zu ſehen. Von den beiden Enden dieſer Querſtange geht auf

jeder Seite des Cylinders eine Stange nieder, gerade ſo wie zu beiden Seiten der Stange Q, Fig. 326, die beiden Stangen M hängen. Im Grundriſſe ſind nur die oberen Enden der Stangen n ſichtbar, im Aufriſſe aber ſieht man nur die vordere derſelben. Die Stangen g und h dienen

Fig. 336.

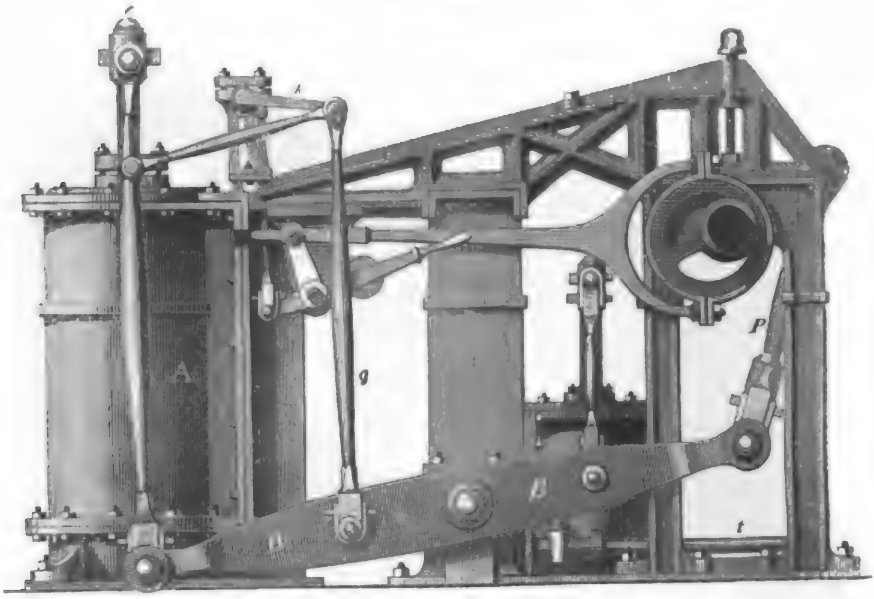
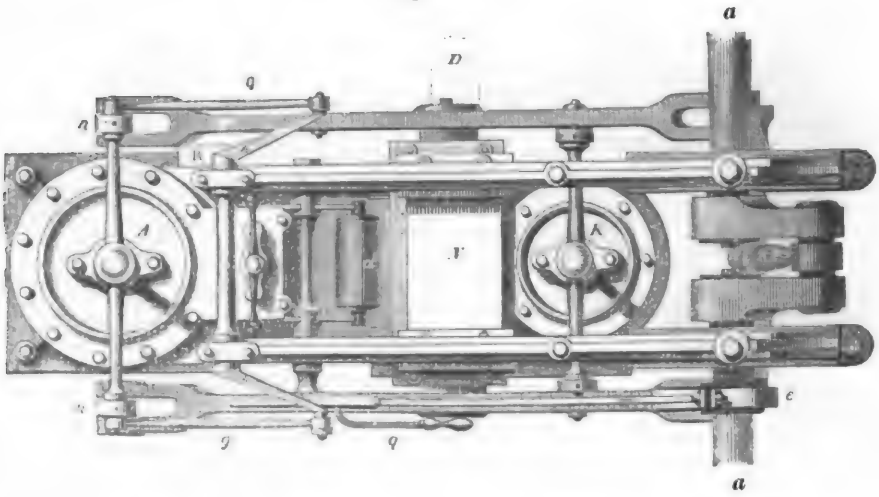


Fig. 337.



nur dazu, um die vertikale Bewegung der Kolbenſtange zu ſichern.

Der Balancier B iſt unten angebracht, und zwar befindet ſich auf jeder Seite der Maſchine eine ſolcher Balancier, wie man im Grundriſſe ſieht. Die beiden Balanciers drehen ſich beide um dieſelbe Axe, welche durch die

Maſchine hindurchgehend auch im Durchſchnitte Fig. 333 ſichtbar iſt. An jeder Seite hat der Balancier ein gabelförmiges Ende, in welchem auf der linken Seite die Stangen *n* befeſtigt ſind, ſo daß das Auf- und Niedergehen der Stange *n* das linke Ende des Balanciers ebenfalls abwechſelnd auf- und niederzieht.

Die Enden auf der rechten Seite der beiden Balanciers ſind durch einen ſtarken Querhügel verbunden, in deſſen Mitte die nach oben gerichtete Treibſtange *P* befeſtigt iſt, deren Eingreifen in die Kurbel namentlich aus dem Grundriſſe deutlich zu erſehen iſt. Die Axe *a*, welche durch die Kurbel umgedreht wird, iſt die Axe der Schaufelräder.

An der Axe *a* iſt, wie man im Aufriſſe ſieht, die excentriſche Scheibe befeſtigt, welche das Auf- und Niedergehen des Schieberventils ganz in der Weiſe bewirkt, wie wir bei der Watt'ſchen Maſchine geſehen haben. Die Stange der excentriſchen Scheibe greift in einen Hebelarm ein, welcher um eine feſte Axe drehbar iſt. Wie ſich die Bewegung um dieſe zum Schieberventil fortpflanzt, iſt bekannt. Man ſieht aber in unſerm Grundriſſe an der Axe noch zwei Hebelarme befeſtigt, welche einen Cylinder *d* tragen. Dieſer Cylinder iſt nur ein Gegengewicht gegen die auf der andern Seite der Axe hängende Laſt des Schieberventils.

Die Stange des Kolbens der Luftpumpe *K* trägt oben ebenfalls einen horizontalen Querſtab, von welchem zu beiden Seiten Stangen vertikal heruntergehen, die am Balancier befeſtigt ſind, ſo daß die auf- und niedergehende Bewegung des Balanciers die Pumpe in Bewegung ſetzt.

Durch die Röhre *t*, Fig. 336, fließt das Waſſer in den Condenſator; durch einen Hahn, welcher in der Figur deutlich zu ſehen iſt, kann man den Waſſerzufluß reguliren.

Das Waſſer aus *N* fließt durch die Röhre *D* ab, welche Fig. 337 punktirt iſt, weil, wenn ſie ausgeführt wäre, dadurch die Axe des Balanciers verdeckt würde.

In der Regel ſtehen auf Schiffen zwei ſolcher Maſchinen neben einander, welche an derſelben Axe arbeiten, ihr Gang iſt aber ſo regulirt, daß in der einen der Kolben die Mitte des Cylinders paſſirt, während der Kolben in der andern oben oder unten ankommt, daß alſo die Kurbel der einen Maſchine eine vertikale Stellung hat, während die Kurbel der andern wagerecht ſteht. Der Grund davon iſt leicht einzuſehen.

Man hat auch Schiffsdampfmaſchinen ohne Balancier gebaut. Bei dieſen ſteht der Cylinder nicht aufrecht, ſondern ſchräg, ſo daß ſeine Axe mit der Horizontalen einen Winkel von 20 bis 25 Grad macht. Denkt man ſich die Axe des Cylinders dieſer Maſchinen verlängert, ſo trifft dieſe Verlängerung die Umdrehungsaxe der Schaufelräder. Die Treibſtange verbindet unmittelbar die Kolbenſtange mit der Kurbel, wie dies

auch bei der Locomotive der Fall ist, die wir bald werden kennen lernen.

Schon Savary machte den Vorschlag, mittelst des durch seine Maschine gehobenen Wassers ein Wasserrad in Bewegung zu setzen, welches wieder die Schaufelräder eines Schiffes umdrehen sollte. Jonathan Hull wollte durch eine Newkomen'sche Maschine ein Schiff in Bewegung setzen; sein Project, von dem jedoch auch nicht viel Erfolg zu erwarten war, kam nicht zur Ausführung. Als Watt die Dampfmaschine vervollkommnet hatte, baute Perrier im Jahre 1775 ein Dampfschiff, dessen Maschine nur eine Pferdekraft hatte, und mit welchem er auf der Seine nur stromabwärts und zwar äußerst langsam fahren konnte. Der Gedanke wurde wieder aufgegeben. Glücklicher war der Marquis von Jouffroy, der 1781 zu Lyon ein großes Dampfschiff baute, um die Saone zu befahren. Seine Versuche würden höchst wahrscheinlich zu einem günstigen Resultate geführt haben, wäre er nicht durch die Revolution, welche ihn auszuwandern nöthigte, an seinem Unternehmen gehindert worden.

Mit besserem Erfolge wurde der Gedanke in Amerika verfolgt. Nachdem daselbst so wie auch in England mehrere erfolglose Versuche gemacht worden waren, war besonders Robert Livingston bemüht, diese Idee in großem Maaßstabe auszuführen. Sein erster Versuch fiel ungünstig aus. Im Jahre 1803 kam er als Gesandter der Vereinigten Staaten nach Paris, wo er sich mit Robert Fulton, gleichfalls einem Nordamerikaner, verband. Fulton hatte schon früher der französischen Regierung die Erbauung eines Dampfschiffes vorgeschlagen und baute 1803 ein solches, mit welchem er die Seine hinabfuhr. Da man auf seine Vorschläge nicht einging, so kehrte er nach Amerika zurück. Im Jahre 1807 baute er ein großes Dampfschiff, Clermont genannt, welches durch eine Dampfmaschine von 20 Pferdekräften, die in der Fabrik von Bulton und Watt verfertigt war, getrieben wurde. In 32 Stunden legte dieses Schiff mit 160 Tonnen Ladung den 120 engl. Meilen weiten Weg von New-York nach Albany zurück. Seit diesem so gelungenen Versuche hat sich die Dampfschifffahrt immer mehr ausgebreitet und vervollkommnet. —

154 In den bis jetzt betrachteten Maschinen war der Condensator ein wesentlicher Theil. Betrachten wir nun, welchen Einfluß die Weglassung des Condensators haben wird? Wenn auf der einen Seite des Kolbens Dampf von einer Atmosphäre Spannkraft wirkt, der Theil des Cylinders aber, welcher auf der andern Seite des Kolbens liegt, nicht mit dem Condensator, sondern mit der freien Luft in Verbindung steht, so ist der Druck des Dampfes auf der einen Seite dem Drucke der atmosphärischen Luft auf

der andern Seite des Kolbens gleich, es iſt alſo keine Bewegung möglich. Um eine ſolche hervorzubringen, muß die Spannkraft des Dampfes geſteigert werden. Geſetzt, ſie ſey gleich dem Drucke von zwei Atmoſphären geworden, ſo wird der Effect gerade derſelbe ſeyn, als ob auf der einen Seite des Kolbens ein leerer Raum wäre und auf der andern Seite Dampf von einer Atmoſphäre Spannkraft drückte; die Hälfte der geſammten Dampfkraft geht alſo zur Ueberwindung des Luftwiderſtandes verloren. Hätte der wirkende Dampf eine Spannkraft von drei, vier, fünf u. ſ. w. Atmoſphären, ſo würde ohne Condenſator $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ u. ſ. w. der geſammten Dampfkraft zur Ueberwindung des Luftwiderſtandes verloren gegangen ſeyn. Je größer alſo die Spannkraft des Dampfes iſt, welcher in der Maſchine wirkt, ein deſto geringerer Antheil der geſammten Dampfkraft geht, wenn man keinen Condenſator anwendet, zur Ueberwindung des Luftdruckes verloren. Wenn alſo der Dampf, welcher die Maſchine treiben ſoll, nur eine Spannkraft von einer Atmoſphäre oder etwas mehr hat, ſo iſt der Condenſator ganz unentbehrlich; iſt aber die Spannkraft des wirkenden Dampfes größer, ſo kann die Maſchine auch ohne Condenſator gehen, und zwar iſt der Vortheil, den der Condenſator noch bringt, um ſo geringer, je größer die Spannkraft der wirkenden Dämpfe iſt. Nun aber verzehren die Widerſtände, welche bei der Bewegung der Condenſatorpumpe (Luftpumpe) zu überwinden ſind, auch einen Theil der Dampfkraft. Bei einer gewiſſen Größe des Dampfdruckes alſo wird der Vortheil, welchen der Condenſator gewährt, durch die Widerſtände in der Luftpumpe wieder aufgehoben; es iſt alſo in dieſem Falle ganz gleichgültig, ob man einen Condenſator anwendet, oder nicht. Bei Maſchinen, die durch ſtärker geſpannten Dampf getrieben werden, würde alſo der Condenſator mehr Nachtheil als Vortheil bringen; man läßt ihn deshalb in dieſem Falle ganz weg.

Gewöhnlich nennt man Dampfmaſchinen, welche mit einem Condenſator arbeiten, *Niederdruckmaſchinen*, diejenigen aber, bei welchen der Condenſator fehlt, heißen *Hochdruckmaſchinen*.

Durch das Wegbleiben des Condenſators und der Luftpumpe ſind die Hochdruckmaſchinen weit einfacher als die Niederdruckmaſchinen, und um gleichen Effect hervorzubringen, ſind die Dimenſionen der erſteren immer kleiner als die der letzteren; denn der Geſammtdruck eines Dampfes von 4 Atmoſphären Spannkraft auf eine Fläche von 1 Quadratfuß iſt ja ebenſo groß als der Geſammtdruck eines Dampfes von 1 Atmoſphäre Spannkraft auf einer Fläche von 4 Quadratfuß. Aus dieſem Grunde wendet man die Hochdruckmaſchinen überall da an, wo es darauf ankommt, eine Maſchine von bedeutender Kraft auf einen kleinen Raum zu bringen.

Eine der bekannteſten und intereſſanteſten Hochdruckmaſchinen iſt die *Locomotive*, wie ſie auf unſeren Eiſenbahnen gebraucht wird. Eine

Fig. 338.

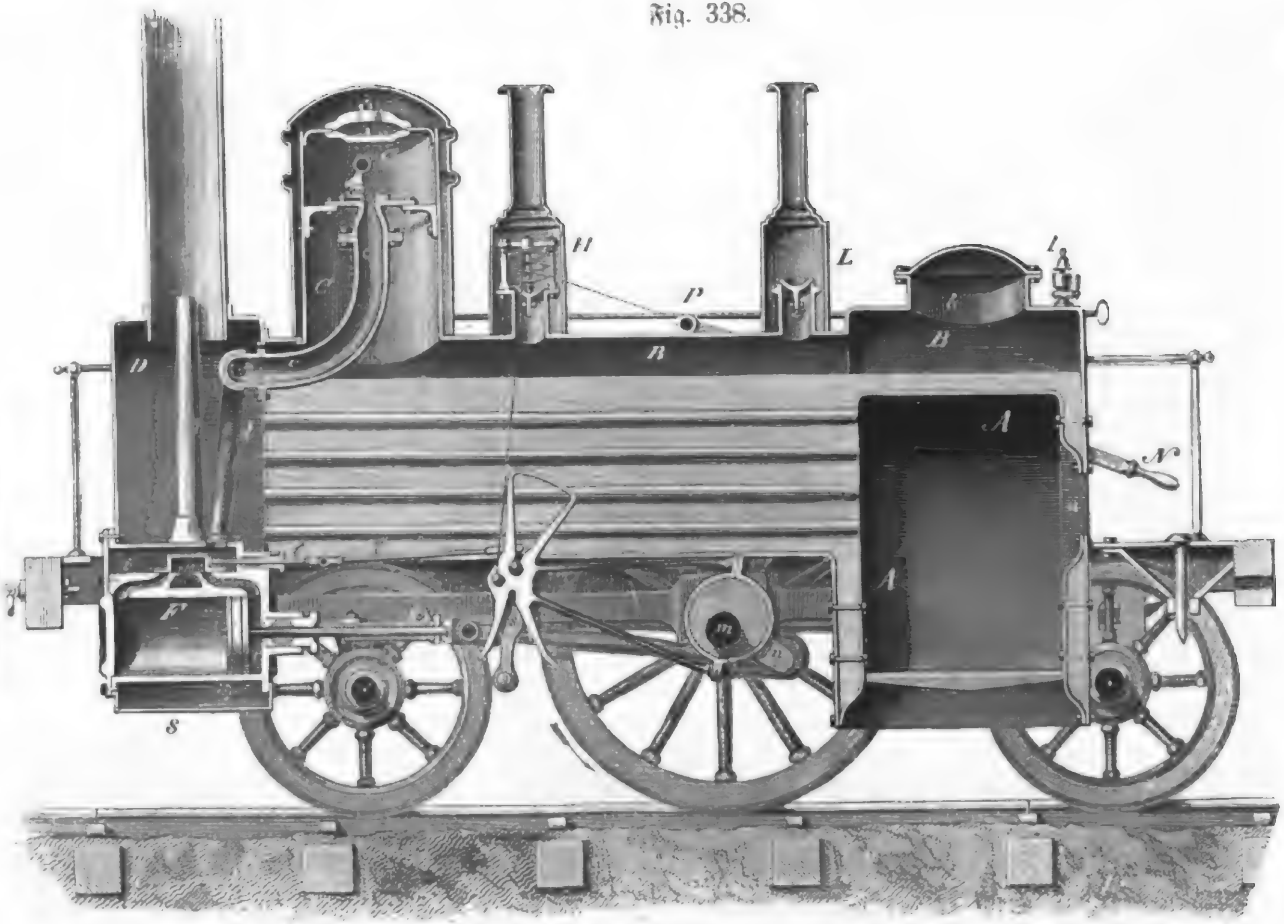
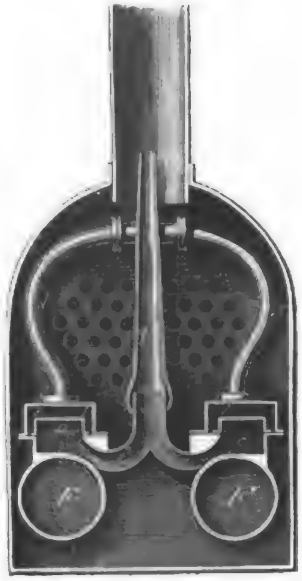


Fig. 339.



ſolche Locomotive iſt Fig. 338 dargeſtellt. *A* iſt der Feuerraum. Das Brennmaterial wird durch die Oeffnung *a*, die durch eine Thür geſchloſſen werden kann, auf den Roſt geworfen. Von dem Feuerraume *A* iſt aber für die erhitzte Luft kein Ausweg als eine Reihe horizontaler Röhren, welche von *A* nach *D* führen; von *D* geht die erhitzte Luft mit dem Rauche durch den Schornſtein in die Höhe. In Fig. 339 ſieht man, wie die Röhren neben und über einander liegen. Dieſe Röhren gehen nun mitten durch einen mit Waſſer angefüllten Raum; außerdem iſt der Feuerraum ſelbſt von allen Seiten mit Waſſer umgeben. Durch die außerordentlich große Feuerfläche, mit welcher auf dieſe Weiſe das Waſſer in Berührung iſt, bildet ſich in jedem Augenblicke eine bedeutende Dampfmenge. Die Dämpfe ſammeln ſich über dem Waſſer in dem mit *B* und *C* bezeichneten Raume; von *C* werden ſie durch die Röhre *c* dem Cylinder zugeführt. Läge die Mündung der Röhre *c* tief, ſo würde durch das heftige Kochen viel Waſſer mechaniſch in die Röhre *c* und von da in die Cylinder mit fortgeriſſen werden. Um dies zu verhindern, iſt der Dampfraum bei *C* erhöht. Die Röhre *c* theilt ſich bald in zwei andere, *d* und *d'*, wie man dies deutlich aus Fig. 339 ſieht. In Fig. 338 iſt nur eine dieſer Röhren, nämlich *d*, ſichtbar. Jede führt zu einem Behälter *i*, aus welchem der Dampf in die Cylinder *F* tritt. Auf jeder Seite des Wagens liegt ein Cylinder, wie man Fig. 339 ſieht, von dieſen Cylindern iſt in Fig. 338 nur der eine, nämlich der vordere, ſichtbar. Er iſt hier im Längendurchſchnitte dargeſtellt, die Durchſchnittfläche aber fällt nicht mit der der ganzen übrigen Figur zuſammen, ſondern liegt vor derſelben. Die Cylinder liegen horizontal, und der Kolben ſammt den Kolbenſtangen gehen in einer horizontalen Richtung hin und her. Von dem Behälter *i*, in welches der Dampf durch die Röhren *c* und *d* geleitet wird, gehen zwei Kanäle zu dem einen und dem andern Ende des Cylinders. Auf der untern Grenzfläche des Behälters *i* wird ein Schieber hin und her bewegt, deſſen mittlerer Theil einen Kaſten *o* bildet, welcher nach unten offen iſt. In der Stellung, welche Fig. 338 zeigt, ſind durch dieſen Schieber beide Kanäle verſchloſſen. Denken wir uns denſelben ſo weit links geſchoben, daß der Kanal links nicht mehr verſchloſſen iſt, ſondern in die Höhlung *o* mündet, ſo würde der Kanal rechts mit dem Dampfbehälter *i* in Verbindung ſtehen; bei dieſer Stellung des Schiebers alſo würde der Dampf auf der rechten Seite in den Cylinder eintreten, alſo den Kolben nach der linken treiben, während der Dampf von der linken Seite des Kolbens durch den Kanal links in den Kaſten *o* und von da durch die Röhren *p* und *q* in den Schornſtein gelangt. Wenn aber der Schieber ſeine äußerſte Stellung rechts hat, ſo ſtrömt der Dampf von *i* durch den Kanal links in den Cylinder, und auf der andern Seite entweicht er durch den Kanal rechts in den Kaſten.

Digitized by Google

Fig. 340.

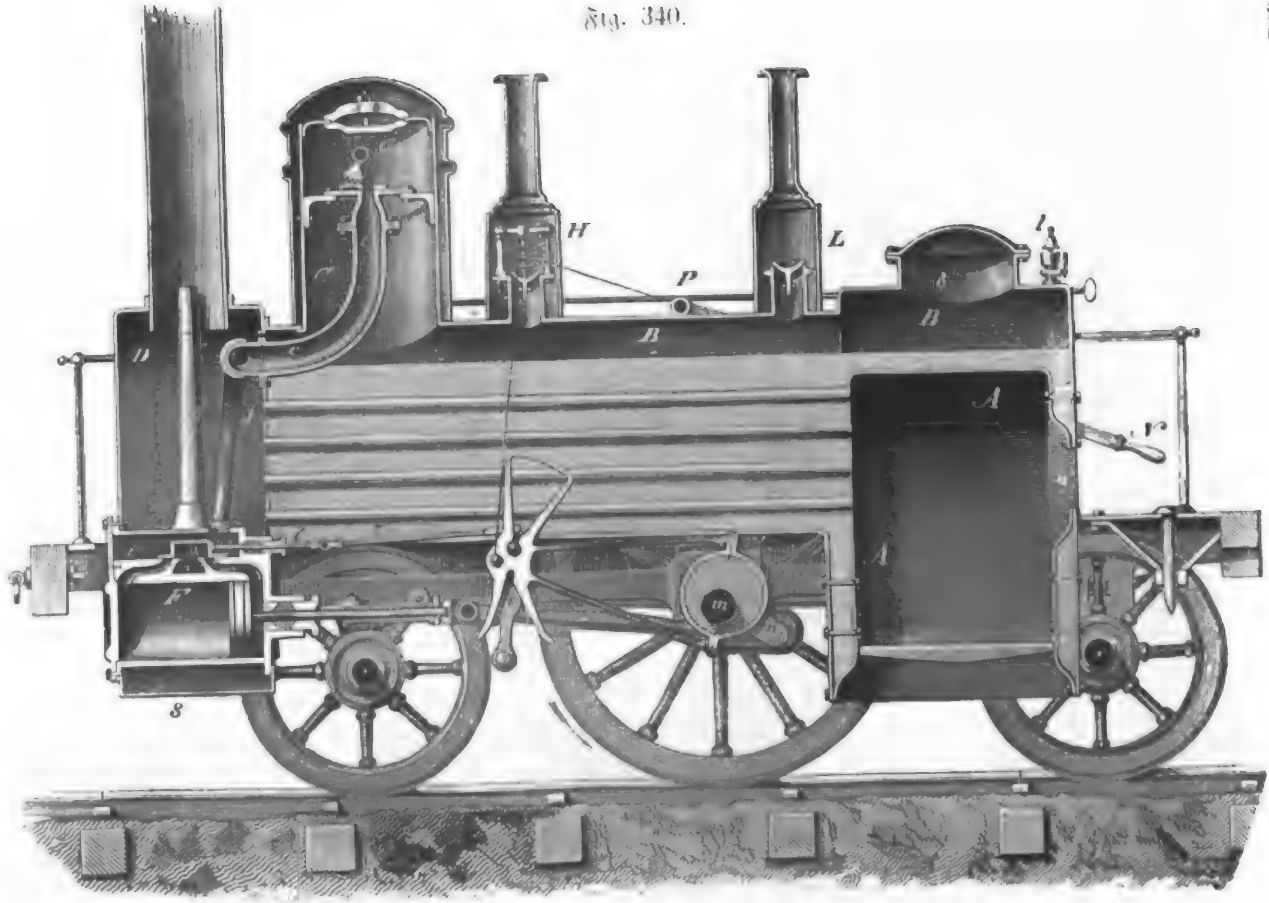
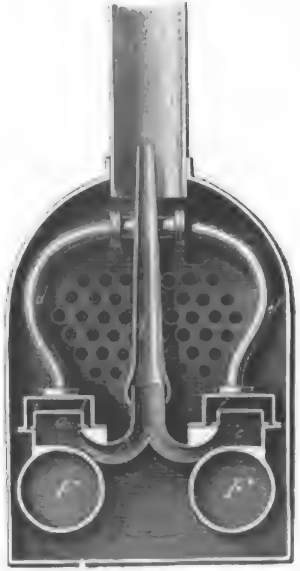


Fig 341.



Die Kolbenſtange iſt durch ſogenannte Couliſſen feſtgehalten, d. h. ſie iſt durch dieſelben verhindert, von ihrer Bahn abzuweichen, ſo daß ſie nur in einer und derſelben geraden Linie hin- und hergehen kann. An der Kolbenſtange iſt unmittelbar die Treibſtange befeſtigt, welche die Kurbel *n* um die Axe *m* umdreht. An der Axe *m* ſind aber auch die mittleren Räder des Wagens befeſtigt, ſo daß alſo durch jeden Hin- und Hergang des Kolbens eine ganze Umdrehung des Rades erfolgt; bei jedem Hin- und Hergange des Kolbens geht alſo der Wagen um eine Strecke weiter, welche dem Umfange der mittleren Räder gleich iſt.

An der Axe *m* iſt auch die excentriſche Scheibe befeſtigt, durch welche der Schieber im Behälter *i* bewegt wird. Wie wir in unſerer Figur ſehen, greift das ungefähr X förmige Ende des am Ringe der excentriſchen Scheibe befeſtigten Geſtänges am obern Ende eines Hebels ein, deſſen Stützpunkt bei *s* iſt. Durch die Bewegung dieſes Hebels werden aber auch die daran befeſtigten Stangen *t* und durch dieſe der Schieber hin und her gezogen.

Um die Bewegung umzuſetzen, d. h. um zu machen, daß ſich der Wagen rückwärts bewegt, wird der Hebelarm *N* in die Höhe gezogen. Der Stützpunkt dieſes Hebels iſt bei *P*, no ſeine Axe quer über den ganzen Wagen herüber geht. Auf jeder Seite des Wagens iſt nun ein Hebelarm befeſtigt, deſſen Richtung mit der Verlängerung von *NP* parallel läuft. In unſerer Figur iſt dieſe Richtung nur durch eine Linie angedeutet. Von dieſen Hebelarmen gehen Stangen vertikal herunter zu den X förmigen Enden des an der excentriſchen Scheibe befeſtigten Geſtänges (da die Maſchine zwei Cylinder hat, ſo muß ſie natürlich auch zwei excentriſche Scheiben u. ſ. w. haben). Durch Aufheben des Hebelarms *N* wird nun offenbar das X auf jeder Seite des Wagens niedergedrückt, ſo daß nun das Geſtänge am untern Ende des Hebels angreift, deſſen Stützpunkt *s* iſt. Je nachdem aber das Geſtänge oben oder unten eingreift, muß ſich das Rad in der Richtung des Pfeils oder in der entgegengeſetzten drehen, wie dies wohl durch folgende Betrachtung klar wird. Denken wir uns den Kolben in der Mitte des Cylinders und den Kurbelarm *n* vertikal nach oben gerichtet, ſo hat der Mittelpunkt der excentriſchen Scheibe (welcher hier um 90° von der Richtung der Kurbel abſteht) ſammt dem Geſtänge und dem X ſeine äußerſte Stellung links. Greift nun das Geſtänge oben in den um *s* drehbaren Hebel ein, ſo hat auch das obere Ende dieſes Hebels und mit ihm der Schieber im Behälter *i* ſeine äußerſte Stellung links, der Dampf tritt alſo auf der rechten Seite in den Cylinder, um den Kolben mit der Treibſtange und der Kurbel *n* nach der Linken zu bewegen, das Rad dreht ſich alſo in der Richtung des Pfeils. Griffe aber das X unten an dem Hebel an, ſo hätte ſein unteres Ende

die äußerſte Stellung links, das obere Ende alſo mit dem Schieber ſeine äußerſte Stellung rechts, der Dampf würde alſo auf der Linken in den Cylinder treten, um den Kolben mit der Kurbel nach der Rechten zu treiben, das Rad müßte ſich alſo gegen den Pfeil bewegen.

H und *L* ſind Sicherheitsventile, *l* iſt ein Pfeifchen, welches zu Signalen dient.

155 Der Effect, welchen eine Dampfmaſchine hervorzubringen im Stande iſt, die Kraft der Maſchine, hängt von der Waſſermenge ab, die in einer gegebenen Zeit im Keſſel in Dampf verwandelt wird; unterſuchen wir deshalb, welche Wirkung 1 Liter Waſſer in Dampfform hervorzubringen im Stande iſt. — Nehmen wir an, die Kolbenfläche betrage 1 Quadratdecimeter, die Höhe des Cylinders (die Hubshöhe) aber ſey 10 Decimeter, ſo iſt der Inhalt des Cylinders 10 Kubikdecimeter oder 10 Liter; um alſo den Kolben von unten bis oben zu treiben, müſſen 10 Liter Dampf aus dem Keſſel in den Cylinder übergehen. Wenn nun der Dampf eine Spannkraft von einer Atmoſphäre hat, ſo iſt der Druck, den er auf jedes Quadratcentimeter der Kolbenfläche ausübt, ungefähr 1 Kilogramm, der Geſammtdruck auf den ganzen Kolben beträgt demnach 100 Kilogramme; wenn alſo gar keine Bewegungshinderniſſe vorhanden wären, ſo könnte man den Kolben mit 100 Kilogrammen belaſten, und dieſe 100 Kilogramme würden 10 Decimeter hoch gehoben, wenn man 10 Liter Waſſerdampf von 100 Grad in den Cylinder führt. Der Effect alſo, den 10 Liter Waſſerdampf von 100° hervorbringen können, iſt der Hebung von 100 Kilogrammen auf eine Höhe von 10 Decimetern oder der Hebung von 1000 Kilogrammen auf eine Höhe von 1 Decimeter äquivalent. Ein Liter Waſſer giebt aber 1700 Liter Waſſerdampf von 100°, mit 1 Liter Waſſer, in Dampf von 100° verwandelt, kann man alſo einen Effect hervorbringen, welcher der Hebung von 170000 Kilogrammen auf eine Höhe von 1 Decimeter äquivalent iſt.

Um die Kraft der Maſchine beſſer überſehen zu können, vergleicht man ſie gewöhnlich mit Pferdekräften. Nimmt man an, daß ein Pferd in 1 Secunde eine Laſt von 750 Kilogrammen 1 Decimeter hoch heben könne (in der That ergiebt ſich aus den beſten Beobachtungen über die Arbeit der Pferde, daß ſie bei zweckmäßigſter Verwendung ihrer Kräfte bei andauernder Arbeit einen Effect hervorbringen, welcher dem erwähnten äquivalent iſt), ſo würde man ſagen, daß eine Maſchine, in welcher in jeder Secunde ſo viel Dampf erzeugt wird, als nöthig iſt, um 750 Kilogramme 1 Decimeter (oder 500 Pfund 1 Fuß) hoch zu heben, eine Dampfmaſchine von 1 Pferdekraft ſey.

Nun kann aber der Waſſerdampf, welcher aus 1 Liter Waſſer erhalten wird, 170000 Kilogramme 1 Decimeter hoch heben; wenn alſo im Keſſel

1 Liter Waſſer in $\frac{170000}{750}$, also in 226 Secunden verdampft wird, ſo iſt der Totaleffect, den dieſer Dampf in der Maſchine hervorbringen kann, einer Pferdekraft gleich. Eine ſolche Maſchine verzehrt alſo in einer Stunde ungefähr 15 Liter Waſſer.

Nicht alle mechaniſche Kraft des Dampfes kann aber als Nutzeffect angeſchlagen werden. Sehr viel geht verloren, weil der Kolben nicht gegen einen abſolut leeren Raum drückt, weil die Reibung des Kolbens überwunden werden muß, weil mehrere Pumpen in Bewegung geſetzt werden müſſen u. ſ. w. Alle dieſe Widerſtände verringern den Nutzeffect der Maſchine faſt auf die Hälfte des oben berechneten.

Einen großen Vortheil hat man bei den Hochdruckmaſchinen durch Anwendung der Expanſion des Dampfes im Cylinder erlangt, welche dadurch hervorgebracht wird, daß der Zufluß des Dampfes aus dem Dampfkeſſel in den Cylinder abgeſperrt wird, wenn der Kolben erſt einen Theil ſeines Weges, etwa $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ u. ſ. w. zurückgelegt hat. Daß durch Anwendung des Expanſionsprincips bei gleichem Dampfverbrauch ein größerer Effect hervorgebracht wird, läßt ſich durch folgende einfache Betrachtung einſehen.

In einen Dampfcylinder ſtröme während des ganzen Kolbenhubs, wie dies bei gewöhnlichen Maſchinen der Fall iſt, Dampf ein, deſſen Spannkraft wir zu 2 Atmoſphären annehmen wollen, ſo iſt am Ende des Kolbenhubs der ganze Cylinder mit Dampf von 2 Atmoſphären Spannkraft gefüllt, und während dieſes Kolbenhubs iſt ein mechaniſcher Effect hervorgebracht worden, den wir mit E bezeichnen wollen.

Ließe man nun in denſelben Cylinder Dampf von doppelter, alſo von 4 Atmoſphären Spannkraft eintreten, ſo würde der Druck gegen den Kolben doppelt ſo groß ſeyn, und der mechaniſche Effect E würde ſchon hervorgebracht worden ſeyn, wenn der Kolben erſt den halben Hub vollendet hat, wenn er in der Mitte des Cylinders angekommen iſt. Wird nun in dieſem Momente der fernere Zufluß des Dampfes in den Cylinder abgeſperrt, ſo wird der Kolben die übrige Hälfte ſeines Weges fortſetzen, während der Druck, der ihn treibt, nach und nach bis zur Hälfte abnimmt, denn wenn er am Ende ſeiner Bahn ankommt, ſo iſt die Spannkraft des Dampfes noch 2 Atmoſphären.

Da ſchon während der erſten Hälfte des Kolbenhubs der mechaniſche Effect E hervorgebracht worden iſt, ſo iſt der ganze Effect, welchen der Dampf während der zweiten Hälfte des Kolbenhubs hervorbringt, während er ſich alſo ſo ausdehnt, daß ſeine Spannkraft von 4 Atmoſphären bis zu 2 Atmoſphären abnimmt, als Gewinn zu betrachten; denn die Quantität des Dampfes, welche am Ende des Kolbenhubs den Cylinder

erfüllt, iſt gerade eben ſo groß, als ob während des ganzen Kolbenhubs Dampf von 2 Atmoſphären Spannkraft angeſtrömt wäre.

Die Abſperrung des Dampfes wird gewöhnlich durch einen beſondern Expanſionsſchieber bewirkt. Bei den gewöhnlichen Maſchinen ſtrömt der Dampf aus dem Keſſel direct in die Kammer, in welcher ſich der Vertheilungsſchieber bewegt, um den Dampf bald auf die eine, bald auf die andere Seite des Kolbens treten zu laſſen; wir wollen dieſe Kammer *a* nennen.

Bei den Expanſionsmaſchinen befindet ſich aber vor dieſer gewöhnlich noch eine zweite Kammer *b*; in der Wand zwiſchen *b* und *a* befindet ſich eine Oeffnung, durch welche der Dampf aus *b* in *a* eintreten kann; dieſe Oeffnung wird oben durch einen zweiten in *b* befindlichen Schieber in den gehörigen Momenten geöffnet und geſchloſſen. Die Bewegung dieſes Expanſionsſchiebers wird meiſt durch eine gehörig geſtellte excentriſche Scheibe ganz in der Weiſe bewirkt, wie die Bewegung des Vertheilungsſchiebers.

Fünftes Kapitel.

Specifiſche Wärme der Körper.

156 **Mittel die Wärmemengen zu vergleichen.** Wir nehmen als einen für ſich ſelbſt einleuchtenden Grundſatz an, daß ſtets dieſelbe Wärmemenge nöthig ſey, um dieſelbe Wirkung hervorzubringen. Wenn z. B. ein Kilogramm Eiſen von 10^0 durch irgend eine Urſache bis zu einer Temperatur von 11^0 erwärmt wird, ſo iſt dazu immer ein und dieſelbe Wärmemenge nöthig, mag die Wärme nun von der Sonne oder von einem Heerde kommen, mag ſie durch Berührung oder durch Strahlung dem Eiſen mitgetheilt werden. Ebenſo wird ſtets dieſelbe Wärmemenge nöthig ſeyn, um 1 Kilogramm Eis von 0^0 zu ſchmelzen, und ſo iſt denn auch ſtets eine beſtimmte Quantität von Wärme nöthig, um 1 Kilogramm Waſſer von 100^0 zu verdampfen. Die Wärmemengen müſſen aber auch dem Gewichte der Subſtanzen proportional ſeyn, auf welche ſie wirken, um einen beſtimmten Effect hervorzubringen, d. h. um die Temperatur von 100 Kilogrammen Eiſen von 10^0 auf 11^0 zu erhöhen; um 100 Kilogrammen Eis zu ſchmelzen oder 100 Kilogrammen Waſſer zu verdampfen, hat man eine 100mal größere Wärmemenge nöthig, als wenn man dieſelben Effecte nur an 1 Kilogramm dieſer Subſtanzen hervorbringen wollte.

Eine Subſtanz hat eine größere oder geringere Wärmecapacität, je nachdem eine größere oder geringere Wärmemenge nöthig iſt, um eine be-

stimmte Temperaturveränderung, etwa eine Temperaturerhöhung von 1^0, hervorzubringen; die dazu nöthige Wärmemenge aber nennt man die *specifische Wärme* dieser Substanz. Zwei Körper haben gleiche Wärmecapacitäten, wenn sie bei gleichem Gewichte derselben Wärmemenge bedürfen, damit ihre Temperatur um 1^0 erhöht wird; dagegen ist die Wärmecapacität des einen Körpers 2mal, 3mal und 4mal so groß als die des andern, wenn dazu eine 2-, 3-, 4mal größere Wärmemenge nöthig ist.

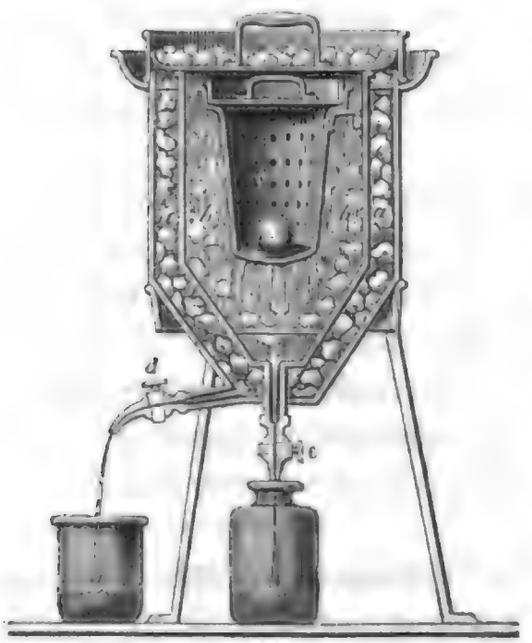
Ein und derselbe Körper kann eine *veränderliche Wärmecapacität* haben, was z. B. beim Platin der Fall ist, welches eine größere Wärmemenge bedarf, um von 100^0 auf 101^0 erwärmt zu werden, als wenn man seine Temperatur von 0^0 auf 1^0 erhöhen will. Die Wärmecapacität des Wassers dagegen ist *constant*, weshalb man sie auch zur Einheit gewählt hat.

Aus diesen Definitionen geht hervor, daß ein Körper, dessen Gewicht m und dessen Wärmecapacität c ist, bei einer Temperaturerhöhung oder einer Temperaturerniedrigung von t^0 eine Wärmemenge aufnimmt oder verliert, welche durch das Product mct ausgedrückt ist.

Um die specifische Wärme der Körper zu bestimmen, hat man drei verschiedene Methoden befolgt, nämlich die Methode des Eisschmelzens, die Mischungsmethode und die Erkaltungsmethode.

Calorimeter von Lavoisier und Laplace. In Fig. 343 ist ein 157
Durchschnitt dieses Instrumentes dargestellt, welches aus drei Gefäßen von Eisenblech besteht, von denen das größte das mittlere und dieses wieder das kleinste einhüllt. Der Zwischenraum zwischen dem ersten und zweiten Gefäße ist mit Eisstücken gefüllt; und das in diesem Raume durch Schmelzung des Eises gebildete Wasser fließt durch den Hahn d ab; der Zwischenraum zwischen dem zweiten und dritten Gefäße ist gleichfalls mit Eisstücken gefüllt, und das hier gebildete Wasser fließt durch den Hahn e ab.

Fig. 343.



Wenn man nun in den innersten Raum den zu untersuchenden Körper bringt, so wird er bis auf 0 Grad erkalten; alle Wärme, welche er abgegeben hat, diente nur, um Eis zu schmelzen, welches durch den Hahn e abfloß, und wenn man die Masse und die anfängliche Temperatur des in den innersten Raum gebrachten

Körpers kennt, wenn man ferner weiß, wie viel Eis durch die von ihm abgegebene Wärme geſchmolzen wurde, ſo kann man leicht die ſpecifiſche Wärme dieſes Körpers berechnen.

Ein Beiſpiel mag dies erläutern: geſetzt, man habe eine auf 100° erwärmte eiſerne 2 Kilogramme ſchwere Kugel in das Calorimeter gebracht, ſo würde die von ihr während ihres Erkaltens bis auf 0° abgegebene Wärme ohngefähr 293 Milligramme Eis geſchmolzen haben. Nun aber haben wir geſehen, daß die Wärme, welche 1 Kilogramm Waſſer von 79 Graden abgiebt, um auf 0° zu erkalten, gerade hinreicht, um 1 Kilogramm Eis zu ſchmelzen; hätte man alſo 2 Kilogramme Waſſer von 79° in den Apparat gebracht, ſo würden 2 Kilogramme Eis geſchmolzen worden ſeyn, 2 Kilogramme Waſſer von 100° würden alſo 2,53 Kilogramme Eis geſchmolzen haben. Wir ſehen alſo, daß, wenn gleiche Maſſen Waſſer und Eiſen von 100° auf 0° erkalten, aus beiden nicht gleiche Wärmemengen austreten, ſondern daß bei dieſer Erkaltung das Eiſen viel weniger, und zwar ohngefähr 0,11mal weniger Wärme abgiebt als das Waſſer. Um alſo gleiche Maſſen Eiſen und Waſſer von 0° auf 100° zu erwärmen, braucht man auch dem Eiſen nur 0,11mal weniger Wärme zuzuführen als dem Waſſer, die ſpecifiſche Wärme des Eiſens iſt alſo 0,11, wenn wir die des Waſſers zur Einheit nehmen.

Das Eis in dem äußern Mantel des Calorimeters dient nur dazu, die Wärme der äußern Umgebung abzuhalten, ſo daß man überzeugt ſeyn kann, daß alles Waſſer, welches durch den Hahn *e* abfließt, durch die Wärme gebildet worden iſt, welche der in den innerſten Theil des Calorimeters gebrachte Körper abgegeben hat, und daß in dem zweiten Mantel des Apparates kein Eis durch die von Außen eindringende Wärme geſchmolzen werden kann.

Die Körper, deren ſpecifiſche Wärme beſtimmt werden ſoll, werden, bevor man ſie in den Apparat bringt, dadurch bis zu einem beſtimmten Temperaturgrade erwärmt, daß man ſie in heißes Waſſer oder heißes Oel taucht. Wenn ſie ſo lange in der Flüſſigkeit waren, daß man überzeugt ſeyn kann, daß ſie dieſelbe Temperatur haben, werden ſie raſch in das Calorimeter gebracht. Wenn die Menge der anhängenden heißen Flüſſigkeit nur etwas bedeutend iſt, darf dieſer Umſtand bei der Berechnung der Reſultate nicht unberückſichtigt bleiben.

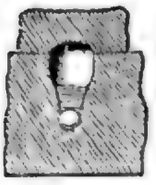
Dieſe Methode läßt ſich nicht für alle Subſtanzen anwenden, weil man ſie nicht immer in hinreichender Menge und in paſſender Form erhalten kann.

Statt der Eisſtücke darf man wenigſtens in dem zweiten Mantel keinen Schnee anwenden, weil derſelbe das Waſſer, welches durch die Schmelzung erzeugt wird, theilweiſe auffaugen und alſo das Ausfließen durch den

Hahn *e* verhindern würde. Aus demſelben Grunde darf das Eis auch nicht zu fein geſtoßen ſeyn.

Die ſpecifiſche Wärme von Körpern, die man in paſſender Form erhalten kann, läßt ſich nach der Methode des Eisſchmelzens auch in folgender Weiſe ermitteln; man macht in ein maſſives feſtes Eisſtück eine Höhlung, in welche man den erwärmten Körper bringt, Fig. 344, und ſie dann mit einem Deckel von Eis bedeckt. Dies Verfahren kann ziemlich genaue Reſultate geben, wenn die Temperatur des Eisſtückes ſowohl als die der umgebenden Luft 0° iſt.

Fig. 344.



Miſchungsmethode. Dieſe Methode beſteht im Weſentlichen darin, 158
daß man eine gewogene Menge des zu unterſuchenden Körpers bis auf eine beſtimmte Temperatur erwärmt und dann in ein Gefäß mit Waſſer eintaucht, deſſen Temperatur durch Abkühlung jenes Körpers erhöht wird; kennt man nun die Quantität des Kühlwaſſers, hat man ermittelt, welche Temperaturerhöhung es durch die Abkühlung des eingetauchten Körpers erleidet, ſo läßt ſich daraus die ſpecifiſche Wärme dieſes Körpers berechnen.

Nehmen wir an, eine 200 Gramm ſchwere bis zu 100° erwärmte Platinkugel ſey in eine 15° warme Waſſermaſſe von 105 Gramm eingetaucht worden und habe ſie durch ſeine Abkühlung auf 20°, alſo um 5° erwärmt, ſo iſt klar, daß die 200 Gramm Platin um 80° abgekühlt werden mußten, um 105 Gramm Waſſer um 5° zu erwärmen. Dieſelbe Wärmemenge, welche die Platinkugel abgegeben hat, würde aber demnach auch hingereicht haben, um die Temperatur von 525 Gramm Waſſer um 1° zu erhöhen. Wäre die Platinkugel nur 1 Gramm ſchwer geweſen, ſo hätte die von ihr bei einer Temperaturerniedrigung von 80° abgegebene Wärmemenge auch nur $\frac{525}{200}$, alſo nur 2,625 Gramm Waſſer um 1° oder 1 Gramm Waſſer um 2,625° erwärmen können. Daraus geht aber hervor, daß dieſelbe Wärmemenge, welche die Temperatur von 1 Gramm Platin um 80° erhöht, die Temperatur einer gleichen Waſſermaſſe nur um 2,625° erhöhen kann, das Platin bedarf alſo nur $\frac{2{,}625}{80}$, alſo 0,0328mal weniger Wärme, um eine gleiche Temperaturerhöhung zu erfahren wie eine gleiche Waſſermaſſe; die ſpecifiſche Wärme des Platins iſt demnach 0,0328.

Bezeichnen wir mit m das Gewicht und mit t die Temperaturerhöhung des Kühlwaſſers (in dem eben berechneten Beiſpiele 105 Gramm und 5°), mit m' und t' das Gewicht und die Temperaturerniedrigung des abgekühlten Körpers (in unſerm Beiſpiele 200 Gramm Platin und 80°), ſo ergiebt ſich aus der eben für einen concreten Fall durchgeführten Betrachtungs-

weiſe für die Berechnung der ſpecifiſchen Wärme c des abgekühlten Körpers folgende Formel.

$$c = \frac{m.t}{m'\,t'}$$

das heißt in Worten, man findet die ſpecifiſche Wärme des abgekühlten Körpers, wenn man ſein Gewicht mit ſeiner Temperaturerniedrigung multiplicirt und mit dieſem Producte in das Product dividirt, welches man erhält, wenn man das Gewicht des Kühlwaſſers mit ſeiner Temperaturerhöhung multiplicirt.

Iſt die ſpecifiſche Wärme eines erhitzten Körpers bekannt, ſo kann man nach dieſer Formel, wie Pouillet gezeigt hat, aus der Temperaturerhöhung, welche das Kühlwaſſer beim Ablöſchen deſſelben erleidet, die Temperatur berechnen, welche er hatte, denn nach dieſer Formel iſt

$$t' = \frac{m\,t}{m'\,c'}$$

Nehmen wir an, man hätte eine 200 Gramm ſchwere Platinkugel in dem Feuer eines Ofens erhitzt, ſie dann in einer Waſſermaſſe von 1000 Gramm abgelöſcht, und dadurch wäre die Temperatur des Waſſers von 13^0 auf 20^0, alſo um 7^0 erhöht worden, ſo haben wir $m = 1000$, $m' = 200$, $t = 7$; die ſpecifiſche Wärme des Platins $c = 0{,}033$, ſo ergiebt ſich

$$t' = \frac{1000.7}{2000.0{,}033} = \frac{7000}{6{,}6} = 1061.$$

Die Temperatur der heißen Platinkugel wäre demnach 1061^0 über 20^0, alſo 1081^0, geweſen. Dieſes Reſultat iſt jedoch nur eine erſte Annäherung, weil, wie Pouillet gezeigt hat, die ſpecifiſche Wärme des Platins für höhere Temperaturen zunimmt. Aus einer Tabelle, die alsbald folgen wird, ſieht man, daß für eine Temperatur von 1000^0, und das iſt ja, wie wir aus der erſten Näherungsrechnung ſehen, die Temperatur, welche die Platinkugel ungefähr hatte, die ſpecifiſche Wärme des Platins gleich 0,0373 iſt. Dieſen Werth haben wir alſo für c in obige Gleichung zu ſetzen, und dann ergiebt ſich

$$t' = \frac{1000.7}{200.0{,}0373} = \frac{7000}{7{,}46} = 938.$$

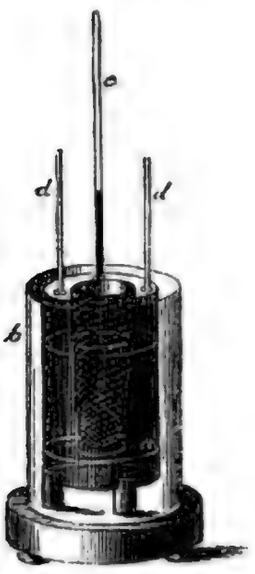
Die Temperatur der Platinkugel war demnach $938 + 20 = 958^0$. Auf dieſe Weiſe kann die Kenntniß der ſpecifiſchen Wärme zur Beſtimmung hoher Temperaturen dienen. Pouillet fand nach dieſer Methode die Temperatur des ſchmelzenden Eiſens gleich 1500 bis 1600^0.

Wenn dieſe Methode brauchbare Reſultate geben ſoll, ſo muß die Waſſermaſſe ſo groß ſeyn, daß ſie durch die Abkühlung des hineingebrachten Körper nur um wenige Grade über die Temperatur der umgebenden Luft-

masse erwärmt wird; dann aber muß man auch die Temperaturerhöhung des Gefäßes in Rechnung bringen. Wäre z. B. das Gefäß von Kupferblech und n Gramm schwer, so ist klar, daß zu einer bestimmten Temperaturerhöhung dieses Gefäßes eben so viel Wärme nöthig ist, als um die Temperatur einer $n.0{,}095$ Gramm schweren Wassermasse um eben so viel Grade zu erhöhen, weil die specifische Wärme des Kupfers 0,095 von der des Wassers ist. Man kann allgemein sagen, die Temperaturerhöhung eines n Gramm schweren Gefäßes erfordert eben so viel Wärme wie eine gleiche Temperaturerhöhung einer $n.c$ Gramm schweren Wassermasse, wenn c die specifische Wärme der Gefäß-Substanz bezeichnet.

Die Fig. 345 stellt den Apparat dar, welchen Pouillet zur Bestimmung der specifischen Wärme des Platins anwandte; a ist ein Gefäß von dünnem Kupferblech, welches auf einer Holzplatte steht, die durch drei Korkstücke getragen wird; b ist ein ähnliches Gefäß, welches das erstere umgiebt und welches Luftströmungen und zufällige Temperaturveränderungen von demselben abhält. Der Deckel des innern Gefäßes hat in der Mitte ein großes Loch und trägt ein Körbchen von dünnem Kupferdraht, in welches der abzukühlende Körper hineingeworfen wird. Die Temperaturerhöhung des Wassers wird an dem Thermometer e abgelesen. Am untern Ende der Stäbchen d ist eine ringförmige dünne Scheibe befestigt, welche auf und nieder bewegt wird, um die Wärme im Wasser möglichst gleichförmig zu vertheilen und die Abkühlung des eingebrachten Körpers möglichst zu beschleunigen; in dieser Scheibe muß natürlich außer der großen Oeffnung in der Mitte noch ein kleines Loch gemacht seyn, durch welches das Thermometer hindurchgeht. Wenn der heiße Körper in das Wasser hineingeworfen worden ist, so ist er schon nach 30 bis 40 Sekunden gänzlich abgekühlt, denn in dieser Zeit hat das Thermometer e das Maximum seiner Temperaturerhöhung erreicht.

Fig. 345



Man muß mehrere solcher Apparate von verschiedener Größe haben, damit man stets einen solchen wählen kann, daß die Temperaturerhöhung des Kühlwassers höchstens 4 bis 5^0 beträgt. Je größer die Masse des abzulöschenden Körpers und je höher seine Temperatur ist, desto größer muß natürlich die Masse des Kühlwassers sein.

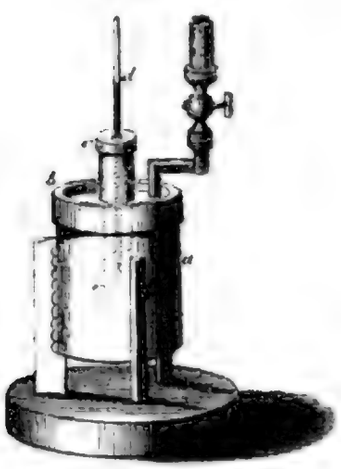
Die neuesten und genauesten Versuche über die specifische Wärme hat Regnault, und zwar nach der Methode der Mischung, angestellt. Er erwärmte die zu untersuchenden Körper in einem ringsum von den Däm-

pfen des kochenden Wassers umgebenen Raume und hatte die Einrichtung getroffen, daß sie aus diesem Raume unmittelbar in das Kühlwasser herabgelassen werden konnten. Für solche Körper, die im Wasser löslich sind, wandte Regnault statt desselben Terpentinöl als Abkühlungsflüssigkeit an, nachdem er zuvor die specifische Wärme des Terpentinöls bestimmt hatte.

159 **Methode des Erkaltens.** Wenn ein erwärmter Körper in einen Raum gebracht wird, in dem er nur durch Wärmestrahlung erkalten kann, so wird er unter übrigens gleichen Umständen um so langsamer erkalten, je größer seine specifische Wärme ist. Darauf gründete zuerst Mayer ein Verfahren, um die specifische Wärme der Körper zu ermitteln; später haben Dulong und Petit nach dieser Methode die specifische Wärme einer Reihe von Körpern mit großer Sorgfalt bestimmt.

Der Apparat, den sie anwandten, ist Fig. 346 dargestellt. Er besteht aus einem bleiernen Behälter a, welches luftleer gemacht wird. In der Mitte des Deckels befindet sich eine metallene Hülse c, in welche ein Thermometer d eingekittet ist, dessen cylindrisches Reservoir sich in der Mitte eines kleinen silbernen Gefäßes e befindet, wie man dies deutlicher in Fig. 347 sieht. Dieses silberne Gefäß ist an Fäden aufgehängt und enthält die zum Versuch bestimmte Substanz. Wenn dieser Körper ein fester ist, so wird er gepulvert und das Pulver fest in das silberne Gefäß hineingedrückt, so daß das Reservoir des Thermometers ganz von dem Pulver umgeben und das Silbergefäß ganz ausgefüllt ist. Das Silbergefäß wird nun mit der darin enthaltenen Substanz 15 bis 20° erwärmt und in das bleierne Gefäß a hineingebracht, welches selbst in ein Wasserbad von constanter Temperatur eingetaucht ist. Nun wird das Gefäß a luftleer gemacht, und man beobachtet, wie viel Zeit nöthig ist, damit das Thermometer von einer Temperatur, welche die Temperatur des Wasserbades um 10° übersteigt, um 5° fällt.

Fig. 346.



347.

Wenn nun die silberne Hülle in gleichen Zeiten gleich viel Wärme ausstrahlt, so ist offenbar der Wärmeverlust, welchen die ganze Masse während der Temperaturerniedrigung von 5° erleidet, der Zeit proportional, welche zu dieser Erkaltung nöthig ist.

Gesetzt nun, für irgend eine Substanz sey diese Zeit gleich z, für eine andere sey sie z', so verhalten sich offenbar die während einer Temperaturerniedrigung von 5^0 abgegebenen Wärmemengen wie z zu z'; wenn aber m und m', c und c' die Gewichte und Wärmecapacitäten der beiden Körper sind, so sind die Wärmemengen, welche sie während einer Temperaturerniedrigung von 5^0 abgeben, $5\,m\,c$ und $5\,m'\,c'$, man hat also

$$\frac{m\,c}{m'\,c'} = \frac{z}{z'},$$

und danach läßt sich das Verhältniß der Wärmecapacitäten c und c' berechnen; doch muß man, wenn die Rechnung genaue Resultate geben soll, auch noch die von der Silberhülle selbst und dem Thermometer abgegebene Wärme in Rechnung bringen.

Regnault hat gezeigt, daß diese Methode keine ganz zuverlässigen Resultate geben kann, weil sie vieles voraussetzt, was nicht bewiesen ist; sie setzt nämlich voraus, daß das Erkalten durch alle Parthieen der Substanz gleichmäßig vor sich geht und daß alle Substanzen ihre Wärme mit gleicher Leichtigkeit an die Silberhülle abgeben.

Resultate der Versuche über die specifische Wärme. Die Be- 160
stimmung der specifischen Wärme erhielt durch die Arbeiten von Dulong und Petit eine große Wichtigkeit für die Chemie, indem sie fanden, daß das Product, welches man erhält, wenn man die specifische Wärme eines Elements mit seinem Atomgewichte multiplicirt, stets denselben Werth habe. So fanden sie z. B. die specifische Wärme des Eisens gleich 0,1100; das Atomgewicht dieses Metalls ist aber 339,2, und das Product dieser beiden Größen ist gleich 37,31. Multiplicirt man die specifische Wärme des Kupfers 0,0949 mit seinem Atomgewichte 395,7, so erhält man das Product 37,55, einen Werth, welcher mit dem für das Eisen gefundenen fast vollkommen übereinstimmt. Ebenso fand sich, daß dieses Product für alle metallischen Elemente fast genau denselben Werth habe, es schien also das Gesetz begründet zu seyn, daß die specifische Wärme der metallischen Elemente ihrem Atomgewichte umgekehrt proportional sey.

Dadurch war nun ein Mittel mehr gegeben, das Atomgewicht eines Körpers kennen zu lernen und die Werthe der auf anderm Wege gefundenen Atomgewichte zu controlliren. Die Atomgewichte der Elemente waren zu der Zeit, wo Dulong und Petit diese Arbeiten ausführten, noch nicht so fest bestimmt als jetzt; oft hatte man für denselben Körper unter mehreren Atomgewichten zu wählen, und Dulong und Petit wählten natürlich das mit ihrem Gesetze am besten harmonirende.

Später wurden die Atomgewichte auf anderm Wege genauer bestimmt, aber das Dulong'sche Gesetz stellte sich dadurch nicht noch evidenter heraus, im Gegentheil ergaben sich Abweichungen, welche dem Gesetze gerade

zu widerſprechen ſchienen. So erhält man z. B. für das Product der ſpecifiſchen Wärme des Kobalts, wie ſie von Dulong und Petit beſtimmt worden war, nämlich 0,1498, und des von Berzelius beſtimmten Atomgewichts dieſes Metalls, nämlich 369, das Product 55,28.

Dieſer Umſtand war es beſonders, welcher Regnault veranlaßte, die ſpecifiſche Wärme der Elemente noch einmal genau zu unterſuchen. Vorerſt war eine Ausmittelung der ſpecifiſchen Wärme derjenigen Subſtanzen nöthig, welche zur Conſtruction der Apparate dienten. Regnault fand

die ſpecifiſche Wärme des Meſſings . . . . . , 0,09391
» » » Glaſes 0,19768
» » » Terpentinöls 0,42593
» » » Queckſilbers , . . . 0,03332

Die folgende Tabelle enthält die Endreſultate ſeiner Verſuche über die ſpecifiſche Wärme feſter Elemente, die in chemiſch reinem Zuſtande unterſucht wurden, neben denen von Dulong und Petit.

Name der Subſtanz	Gefundene ſpecif. Wärme	Specif. Wärme nach Dulong u. Petit	Atomgewicht nach Berzelius	Von Regnault angenommenes Atomgewicht	Product aus der ſpecif. Wärme in das letztere
Eiſen	0,11379	0,1100	339,21	339,21	38,597
Zink	0,09555	0,0927	403,23	403,23	38,526
Kupfer	0,09515	0,0949	395,70	395,70	37,849
Kadmium	0,05669		696,77	696,77	39,502
Silber	0,05701	0,0557	1351,6	675,80	38,527
Arſenik	0,08140	0,081 A	470,04	470,04	38,261
Blei	0,03140	0,0293	1294,5	1294,5	40,647
Wismuth	0,03084	0,0288	886,92	1330,4	41,028
Antimon	0,05077	0,0507	806,45	806,45	40,944
Zinn	0,05623	0,0514	735,29	735,29	41,345
Nickel	0,10863	0,1035	369,68	369,68	40,160
Kobalt	0,10696	0,1498	368,99	368,99	39,468
Platin	0,03243	0,0314	1233,5	1233,5	39,993
Palladium	0,05927		665,90	665,90	39,468
Gold	0,03244	0,0298	1243,0	1243,0	40,328
Schwefel	0,20259	0,1880	201,17	201,17	40,754
Selen	0,08370		494,58	494,58	41,403
Tellur	0,05155	0,0912	801,76	801,76	41,549
Jod	0,05412	0,089 A	789,75	798,75	42,703

Die in der dritten Columne mit A bezeichneten Zahlen sind von Avogadro bestimmt worden.

Diese Versuche Regnault's entfernen nun wieder die Zweifel über die Richtigkeit des Dulong'schen Gesetzes. Um dieses Gesetz mit völliger Schärfe zu beweisen, müßten die Zahlen der letzten Columne unter sich vollkommen gleich seyn, was nicht der Fall ist; diese Zahlen schwanken zwischen 38 und 42, eine Differenz, welche für die Beobachtungsfehler bei weitem zu groß ist. Bedenkt man jedoch, daß die Atomgewichte von 200 bis 1400 wechseln, während die in Rede stehenden Producte innerhalb der Gränze 38 bis 42 bleiben, so muß man ohne Zweifel das Dulong'sche Gesetz für ein der Wahrheit sehr nahe kommendes halten.

Regnault fand sich veranlaßt, statt der Berzelius'schen Atomgewichte in einigen Fällen andere anzunehmen; so nimmt er z. B. das Atomgewicht des Silbers um die Hälfte kleiner, was er auch durch den Isomorphismus des Schwefelsilbers mit dem Schwefelkupfer für gerechtfertigt hält. Für Wismuth nimmt er die früher gebräuchliche Atomzahl 1330 statt der jetzt angenommenen 887 an, wofür auch das ähnliche Verhalten einiger Wismuthverbindungen mit den analogen Antimonverbindungen spricht.

Die specifische Wärme eines und desselben Körpers kann sich merklich ändern, wenn seine Dichtigkeit eine Veränderung erleidet; so wird z. B. die specifische Wärme des Kupfers merklich kleiner, wenn durch Harthämmern seine Dichtigkeit zunimmt; die specifische Wärme des schmiedbaren Kupfers ist nach Regnault 0,095, die des gehämmerten Kupfers 0,093.

Die specifische Wärme des Kohlenstoffs ändert sich bedeutend mit dem Dichtigkeitszustande. Regnault fand für Holzkohle 0,2415, für Steinkohle 0,2009 und für Diamant 0,1469, die specifische Wärme ist also um so geringer, je größer die Dichtigkeit ist.

Daß die specifische Wärme der Körper für höhere Temperaturen zunimmt, wie schon oben angeführt wurde, ersieht man aus folgenden von Dulong und Petit gefundenen Werthen:

	Mittlere Capacität	
	zwischen 0 u. 100°	zwischen 0 u. 300°
Eisen	0,1098	0,1218
Quecksilber	0,0330	0,0350
Zink	0,0927	0,1015
Antimon	0,0507	0,0549
Silber	0,0557	0,0611
Kupfer	0,0949	0,1013
Platin	0,0335	0,0355
Glas	0,177	0,190

Nach Pouillet's Verſuchen iſt die mittlere ſpecifiſche Wärme des Platins

zwiſchen	0°	und	100°	0,03350
»	0	»	300	0,03434
»	0	»	500	0,03518
»	0	»	700	0,03602
»	0	»	1000	0,03728
»	0	»	1200	0,03818

Da die ſpecifiſche Wärme eines und deſſelben Körpers veränderlich iſt, ſo kann die ſpecifiſche Wärme einer Subſtanz auch nur für einen beſtimmten Zuſtand der Dichtigkeit und für eine beſtimmte Temperatur dem Dulong'ſchen Geſetze genügen; wenn alſo die Erfahrung dieſes Geſetz nicht in aller Strenge, ſondern nur annähernd beſtätigt, ſo iſt höchſt wahrſcheinlich der Grund darin zu ſuchen.

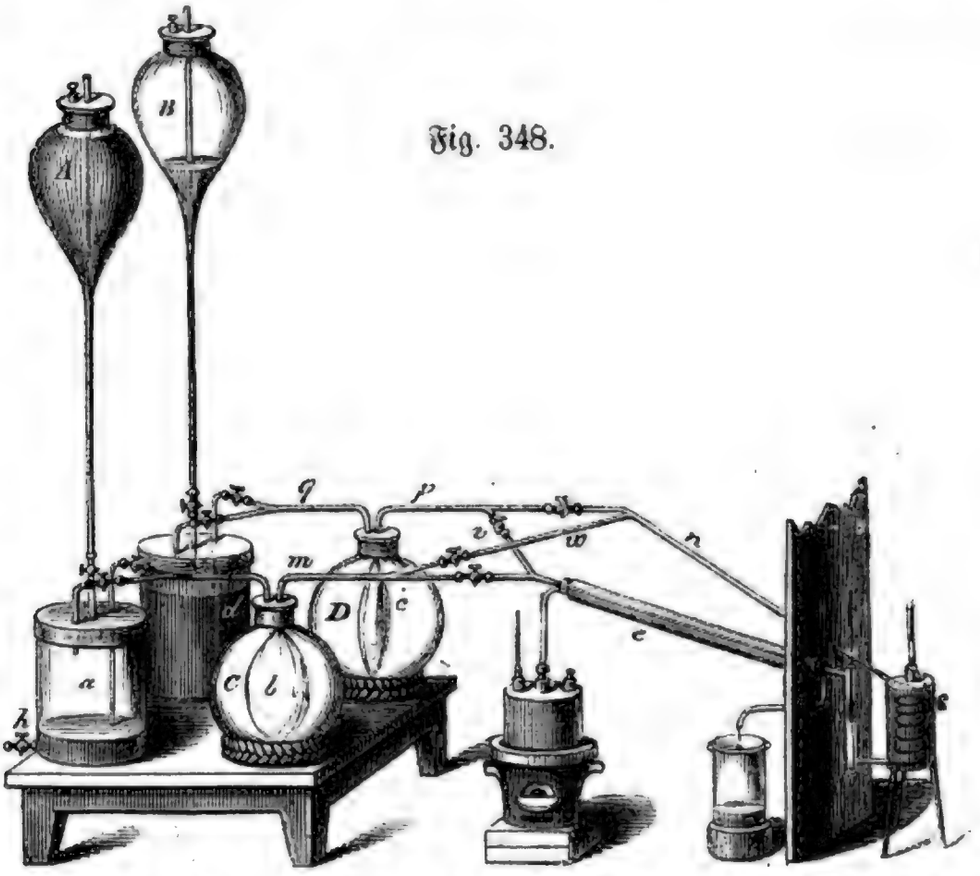
Die ſpecifiſche Wärme zuſammengeſetzter Körper iſt von Avogadro, Neumann und Regnault, und zwar von letzterem am vollſtändigſten, unterſucht worden. Er gelangte durch eine große Reihe von Verſuchen zu dem Satze, daß bei allen zuſammengeſetzten Körpern von gleicher atomiſtiſcher und ähnlicher chemiſcher Zuſammenſetzung die ſpecifiſche Wärme im umgekehrten Verhältniſſe der Atomgewichte ſtehe. So iſt z. B. für Oxyde mit 1 Aeq. Sauerſtoff das Product der ſpecifiſchen Wärme und des Atomgewichts gleich 71,9. Für die entſprechenden Schwefelverbindungen iſt dies Product 74,5; für Chlormetalle mit 1 Aeq. Chlor iſt es 117; für die entſprechenden Bromide und Jodide 121 u. ſ. w.

161 **Specifiſche Wärme der Gaſe.** De la Roche und Berard haben über dieſen Gegenſtand eine ſchöne Arbeit ausgeführt, welche von der Akademie der Wiſſenſchaften zu Paris im Jahre 1812 gekrönt wurde. Der Apparat, welchen ſie zu ihren Verſuchen anwandten, hatte folgende Einrichtung:

Durch den luftdicht ſchließenden Deckel eines mit Luft gefüllten Gefäßes *a*, Fig. 348, geht eine Röhre vertikal in die Höhe, welche oben in ein mit Waſſer gefülltes Gefäß endigt. Das untere Ende dieſer Röhre iſt nach oben gekrümmt, und durch die Oeffnung kann das Waſſer aus dem Gefäße *A* in das Gefäß *a* herabfließen. Das Gefäß *A* iſt gleichfalls durch einen Deckel oben luftdicht verſchloſſen, durch dieſen Deckel geht nun eine an beiden Enden offene Röhre in das Waſſer des Gefäßes *A* hinab, und in dem Maße, als unten Waſſer ausfließt, dringen durch das untere Ende *t* dieſer Röhre Luftblaſen in das Gefäß *A* ein; dadurch wird nun die Luft aus dem Gefäße *a* mit einer conſtanten Geſchwindigkeit, wie ſie einer Waſſerſäule von *t* bis zur untern Oeffnung zukommt, ausgetrieben. (Erſter Theil, Seite 224.)

Aus dem Gefäße *a* gehen nun zwei Röhren, die sich zu einer verbinden, nach dem Ballon *C*; die eine dieser Röhren geht fast bis auf den Boden des Gefäßes *a* herab, und diese ist jetzt durch einen Hahn abgesperrt, durch die andere hingegen strömt die Luft aus dem obern Theile des Gefäßes *a*

Fig. 348.

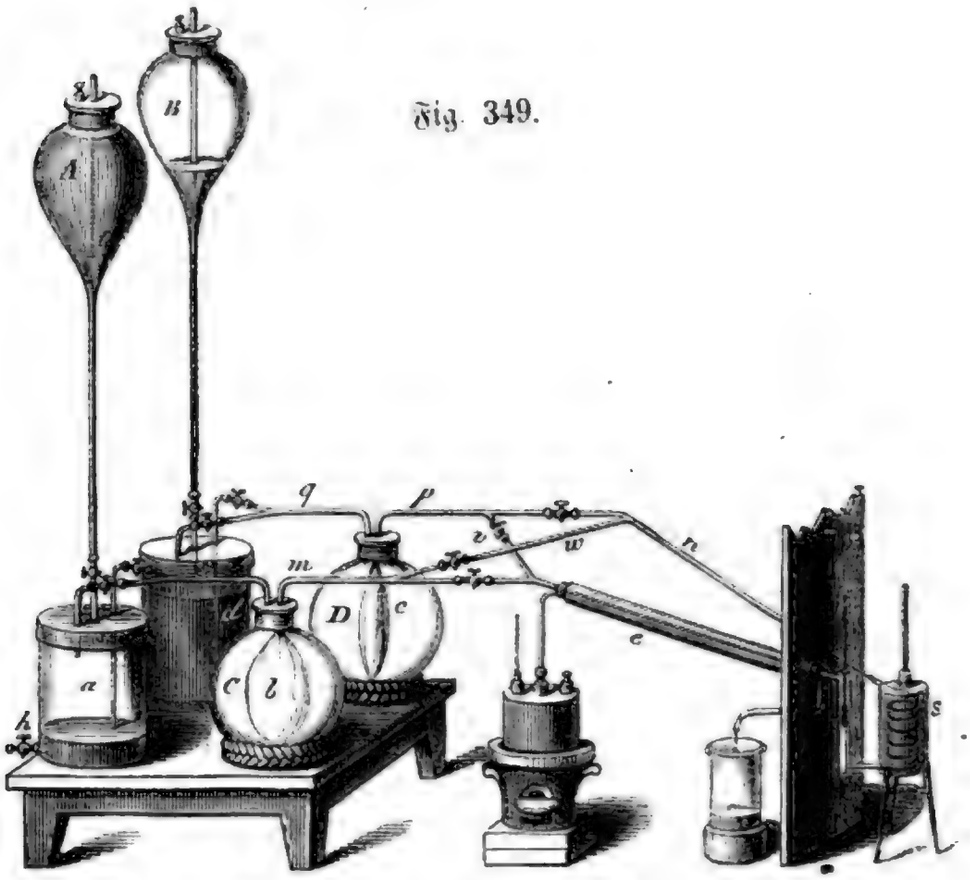


nach dem Ballon *C*. In diesem Ballon hängt nun eine Blase *b*, welche mit dem zu untersuchenden Gase gefüllt ist; aus dieser Blase wird das Gas durch den Druck der comprimirten Luft in *C* durch die Röhre *m* in das Schlangenrohr des Calorimeters *s* getrieben, nachdem es zuvor bei *e* in einer Weise erwärmt worden ist, die sogleich näher beschrieben werden soll. Nachdem das Gas durch das Schlangenrohr des Calorimeters hindurchgegangen ist, wird es durch die Röhren *n* und *p* in die leere Blase *c* geleitet, die sich in dem Ballon *D* befindet. Kurz durch den Druck der Wassersäule wird das Gas aus der Blase *b* auf einigen Umwegen in die Blase *c* hineingepreßt. Wenn sich aber die Blase *c* allmälig mit Gas füllen, wenn sie sich ausdehnen soll, so muß die Luft aus dem Ballon *D* austreten können. In der That führt von *D* eine Röhre *q*, welche sich alsbald in zwei Arme theilt, nach dem mit Wasser gefüllten Gefäße *d*. Der eine dieser Arme führt zu dem oberen Theile des Gefäßes *d*, und dieser Arm ist für jetzt durch einen Hahn verschlossen, der andere Arm aber geht fast bis auf den Boden des Gefäßes *d*. Durch diesen Arm gelangt die aus *D* herausgepreßte Luft in das Gefäß *d*. In dem Maße aber, als die Luft

aus *D* nach *d* übergeht, fließt das Wasser aus dem Gefäße *d* durch einen Hahn ab, welcher dem Hahn *h* am Gefäße *a* entspricht.

Wenn auf diese Weise die Blase *b* entleert und *c* mit Gas gefüllt ist, so ist auch *a* mit Wasser und *d* mit Luft gefüllt; es werden alsdann alle Hähne geschlossen, die bis jetzt geöffnet waren, alle bis jetzt geschlossenen aber geöffnet; alsdann wird durch das aus *B* herabkommende Wasser die Luft in *d* und *D* comprimirt, das Gas wird aus der Blase *c* durch die Röhren *p* und *v* nach der Erhitzungsstelle *e* und von da nach dem Calorimeter getrieben, aus dem Schlangenrohre des Calorimeters aber gelangt

Fig. 349.



das Gas durch die Röhren *n*, *w* und *m* in die Blase *b*; die Luft aus *C* wird nach *a* hinabgepreßt, und das Wasser aus *a* fließt durch den Hahn *h* ab. Wenn die Blase *b* wieder mit Gas gefüllt ist, werden die Hähne abermals verstellt u. s. w. Auf diese Weise kann man eine und dieselbe Gasmenge zu wiederholten Malen mit constantem Drucke durch das Calorimeter hindurchtreiben.

Bei *e* ist das Rohr, durch welches das Gas hindurchstreicht, von einem weiteren Rohre umgeben, welches stets mit den Dämpfen von kochendem Wasser erfüllt ist. Ein Thermometer zeigt die Temperatur an, mit welcher es in das Calorimeter eintritt, ein anderes Thermometer zeigt seine Temperatur beim Austritte aus demselben.

Selbst wenn kein Gas durch den Apparat hindurchströmt, wenn aber doch die Röhre bei *e* durch die Wasserdämpfe erwärmt ist, wird dem Calorimeter eben durch dieses Rohr schon Wärme zugeführt; die Temperaturerhöhung, welche auf diese Weise das Calorimeter erleidet, muß durch vorläufige Versuche ausgemittelt werden, damit man sie gehörig in Rechnung bringen kann.

Um zufällige Temperaturveränderungen von dem Calorimeter abzuhalten, war es durch einen Schirm von dem übrigen Apparate getrennt; ein empfindliches Thermometer zeigte in jedem Augenblicke die Temperatur des Wassers im Calorimeter an.

Wenn das warme Gas fortwährend durch das Calorimeter hindurchstreicht, so wird dieses allmälig erwärmt und nimmt endlich eine constante Temperatur an, wenn es in jedem Augenblicke so viel Wärme empfängt, als es an die Umgebung verliert.

Bei einem Drucke von 76 Centimetern und unter übrigens gleichen Umständen betrug der Ueberschuß der stationären Temperatur des Calorimeters über die Temperatur der Umgebung

für atmosphärische Luft .	15,734°
für Wasserstoffgas . .	14,214
für Kohlensäure . . .	19,800
für Sauerstoffgas . . .	15,365
für Stickstoffoxydgas . .	21,246
für ölbildendes Gas . .	24,435
für Kohlenoxydgas . .	16,270

Da nun in gleichen Zeiten gleiche Gasvolumina durch den Apparat hindurchstreichen, so müssen offenbar die Werthe der specifischen Wärme der verschiedenen Gasarten für gleiche Volumina den eben angegebenen Temperaturüberschüssen proportional seyn; bezeichnet man demnach die specifische Wärme der atmosphärischen Luft mit 1, so ergeben sich für gleiche Volumina der anderen Gase aus den eben angeführten Zahlen folgende Werthe:

Wasserstoffgas	0,9033
Kohlensäuregas . . .	1,2583
Sauerstoffgas	0,9765
Stickstoffoxydgas . . .	1,3503
Oelbildendes Gas . . .	1,5530
Kohlenoxydgas	1,0340

De La Roche und Berard haben die Richtigkeit dieser Resultate aber noch auf einem andern Wege bestätigt. Wenn man der Reihe nach verschiedene Gase mit gleicher Temperatur und unter demselben Drucke durch das Calorimeter hindurchströmen läßt, so würden, wenn das Calorimeter

gar keine Wärme an die Umgebung verlöre, die Wärmecapacitäten der Gaſe dem Volumen derſelben proportional ſeyn, welches durch das Schlangenrohr hindurchſtrömen muß, um das Waſſer ſtets um dieſelbe Anzahl von Graden zu erwärmen. Da es aber nun unmöglich iſt, die Erkaltung des Gefäßes zu verhindern, ſo wurde es zu Anfang des Verſuchs unter die Temperatur der Umgebung erkaltet, und der Verſuch beendigt, wenn die Temperatur des Calorimeters eben ſo hoch über der Temperatur der Umgebung ſtand, als ſie anfangs geringer war; ſo nimmt denn der Apparat während der erſten Hälfte des Verſuchs eben ſo viel Wärme aus der Umgebung auf, als er während der zweiten Hälfte abgiebt; man kann Alles ſo betrachten, als ob gar keine Erkaltung ſtattfände. Auf dieſe Weiſe fanden ſie Werthe für die Wärmecapacität der Gaſe, welche mit den oben angeführten ſehr gut übereinſtimmten.

Dieſe Zahlen gaben die ſpecifiſche Wärme gleicher Gasvolumina bei gleichem Drucke; um die ſpecifiſche Wärme gleicher Gewichtsmengen zu finden, hat man dieſe Zahlen nur durch das ſpecifiſche Gewicht der Gaſe zu dividiren.

Das Verhältniß der ſpecifiſchen Wärme der Gaſe zur ſpecifiſchen Wärme des Waſſers ergiebt ſich aus den Verſuchen von de La Roche und Berard auf folgende Weiſe.

Bezeichnen wir mit s die conſtante Temperatur des Calorimeters, alſo auch die Temperatur, mit welcher das Gas aus dem Calorimeter austritt, mit t ſeine Temperatur beim Eintritt, ſo iſt $t - s$ die Temperaturerniedrigung, welche das Gas beim Durchſtreichen durch das Calorimeter erleidet. Wenn nun ferner m' die Maſſe des Gaſes, welche in einer Minute durchſtreicht, und c die ſpecifiſche Wärme deſſelben iſt, ſo iſt offenbar die in 1′ von dem Gaſe an das Calorimeter abgegebene Wärmemenge gleich $m' c (t - s)$.

Bezeichnen wir ferner mit m die corrigirte Maſſe des Calorimeters, d. h. das Gewicht des Waſſers, welches darin enthalten und deſſen ſpecifiſche Wärme gleich 1 iſt, ſammt dem Gewichte des Gefäßes und des Thermometers, multiplicirt mit der ſpecifiſchen Wärme der Subſtanzen, aus denen ſie verfertigt ſind, mit r die corrigirte Temperatur des Calorimeters, d. h. die Temperatur, bis zu welcher es ſteigen würde, wenn kein Gas durch die Röhre ſtriche und durch dieſe Röhre nur durch Leitung von ihr Wärme zugeführt würde, ſo iſt $mg(s - r)$ die Wärmemenge, welche das Calorimeter in jeder Minute verliert, wo g ein conſtanter Factor iſt, welcher ſich leicht beſtimmen läßt, wenn man die Geſchwindigkeit beobachtet, mit welcher das ſich ſelbſt überlaſſene Calorimeter erkaltet. So lange aber die Temperatur des Calorimeters conſtant bleibt, iſt die Wärme-

menge, die ihm zugeführt wird, stets derjenigen gleich, welche er verliert, man hat also

$$m' c (t - s) = mg (s - r),$$

und daraus läßt sich die Wärmecapacität c des Gases, verglichen mit der des Wassers, berechnen.

Auf diese Weise bestimmten die genannten Physiker die specifische Wärme der atmosphärischen Luft in Beziehung auf das Wasser; es war alsdann leicht, auch die specifische Wärme der anderen Gase auf Wasser zu reduciren.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate der Versuche von de La Roche und Berard über die specifische Wärme der Gase bei gleichem Drucke.

Namen der Gase.	Capacität für gleiche Vol.	Cap. für Gleiche Gewichte	
		Luft = 1	Wasser = 1
Atmosphärische Luft .	1,000	1,000	0,267
Sauerstoff	0,976	0,885	0,236
Wasserstoff	0,903	12,340	3,294
Stickstoff	1,000	1,032	0,275
Kohlenoxyd	1,034	1,080	0,288
Stickstoffoxydulgas .	1,350	0,888	0,237
Kohlensäure . . .	1,258	0,828	0,221
Oelbildendes Gas .	1,553	1,576	0,421
Wasserdampf . . .	1,960	3,136	0,847

Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen. Wir haben bisher die specifische Wärme der Gase bei constantem Drucke betrachtet, sie konnten sich bei ihrer Erwärmung frei ausdehnen. Es ist aber auch wichtig, die Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen zu kennen, d. h. zu wissen, welche Wärmemenge nöthig ist, um die Temperatur eines Gases zu erhöhen, wenn man seine Ausdehnung hindert, wenn also durch die Temperaturerhöhung seine Spannkraft vermehrt wird. 162

Die Idee, die Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen zu ermitteln und sie mit ihrer Wärmecapacität bei constantem Drucke zu vergleichen, rührt von Laplace her.

Nehmen wir an, eine Luftmasse sey durch eine Temperaturerhöhung

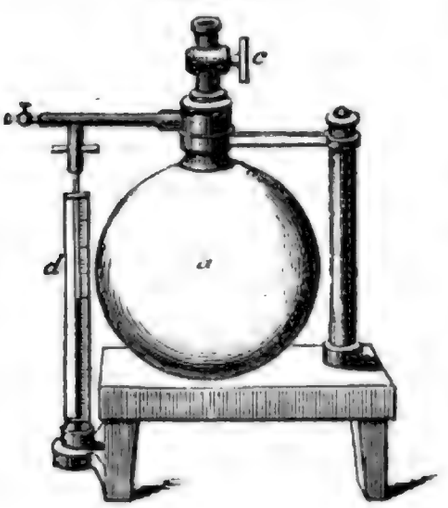
von t^0 bei unverändertem Drucke ausgedehnt; wird nun diese Luftmasse auf ihr ursprüngliches Volumen zusammengepreßt, so erleidet sie eine abermalige Temperaturerhöhung von t' Graden, ohne daß neue Wärme zugeführt wird, dieselbe Wärmemenge also, welche im Stande ist, die Temperatur dieser Luftmasse um t Grad zu erhöhen, wenn sie sich bei unverändertem Drucke ausdehnen kann, würde eine Temperaturerhöhung von $t + t'$ Graden hervorbringen, wenn keine Ausdehnung stattfinden kann. Die specifische Wärme c bei constantem Drucke ist also größer als die specifische Wärme c' bei constantem Volumen, und zwar verhalten sich die Wärmecapacitäten c und c' zu einander wie $t + t'$ zu t, es ist also

$$\frac{c}{c'} = \frac{t + t'}{t}.$$

Die Temperaturerhöhung, welche durch Compression der Luft hervorgebracht wird, läßt sich direct nicht mit Genauigkeit bestimmen, doch läßt sich der Werth des Quotienten $\frac{c}{c'}$ auf indirectem Wege aus folgendem von Clement und Desormes angestellten Versuche ableiten.

Die Luft in einem 28,4 Liter fassenden Ballon a wurde etwas verdünnt, und der Grad der Verdünnung durch die Höhe einer im Manometerrohre d gehobenen Wassersäule gemessen; nehmen wir an, die Höhe dieser Wassersäule habe 188^{mm} betragen. Nun wurde ein Hahn c geöffnet, der so weit war, daß längstens in $\frac{1}{2}$ Sekunde das Gleichgewicht mit der äußern Luft wieder hergestellt würde, und dann rasch wieder geschlossen. Durch das Eindringen der äußern Luft war die verdünnt gewesene Luft im Innern des Ballons zusammengedrückt und in Folge dessen auch etwas erwärmt worden; wenn man also den Apparat sich selbst überläßt, so wird die durch Compression der Luft frei gewordene Wärme sich allmälig verlieren, und in Folge dessen wird die Wassersäule in d von Neuem steigen. Als der Apparat bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet war, betrug die Höhe der Wassersäule in d 49^{mm}. Die Temperaturerhöhung t', welche durch die Compression hervorgebracht wird, verhält sich aber zu der Temperaturerhöhung $t + t'$, welche nöthig wäre, um die Luft im Ballon bei unverändertem Drucke durch Erwärmen so viel zu verdünnen, als es durch die Luftpumpe geschehen war, sehr nahe wie die Druckhöhen 49 und 188;

Fig. 350.



wenn wir also $t' = 49$ und $t + t' = 188$ setzen, so ist $t = 139$, folglich

$$\frac{c}{c'} = \frac{188}{139} = 1{,}35.$$

Dieses Verfahren kann offenbar nur ein angenähert richtiges Resultat liefern, weil auch durch die Gefäßwände eine merkliche Wärmemenge weggenommen wird.

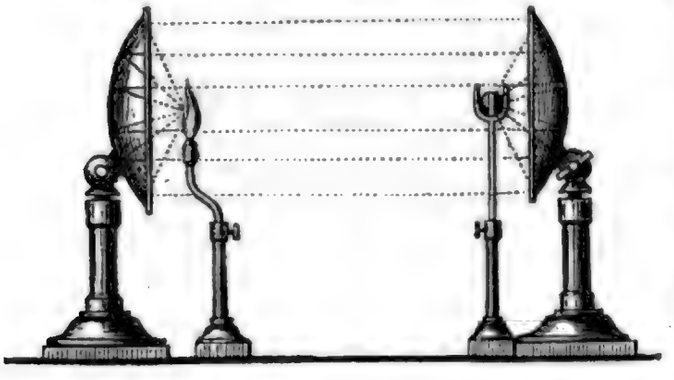
Durch Betrachtungen, die wir hier unmöglich weiter verfolgen können, hat Dulong aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in der Luft für diesen Quotienten den Werth 1,421 abgeleitet.

Sechstes Kapitel.

Fortpflanzung der Wärme.

Existenz der strahlenden Wärme. Die strahlende Wärme durch- 163
dringt gewisse Körper in derselben Weise wie das Licht durch die durchsichtigen Körper hindurchgeht; die Sonnenstrahlen z. B. treffen unsere Erde, nachdem sie die ganze Atmosphäre durchdrungen haben, sie erwärmen die Erdoberfläche, während die höheren Regionen der Luft kalt bleiben; die Wärmestrahlen gehen also größtentheils durch die Atmosphäre hindurch, ohne von ihr absorbirt zu werden. Wenn man sich dem Feuer eines Heerdes nähert, so empfindet man eine brennende Hitze, und doch ist die Luft zwischen uns und dem Feuer nicht bis zu einem solchen Grade erwärmt, denn wenn man einen Schirm vorhält, verschwindet diese Hitze augenblicklich, was unmöglich wäre, wenn wirklich die ganze uns umgebende Luftmasse eine so hohe Temperatur hätte. Heiße Körper können also nach allen Seiten hin Wärme aussenden, welche durch die Luft hindurchgeht, wie die Lichtstrahlen durch durchsichtige Körper; man spricht deshalb von strahlender Wärme und von Wärmestrahlen, wie man von Lichtstrahlen spricht.

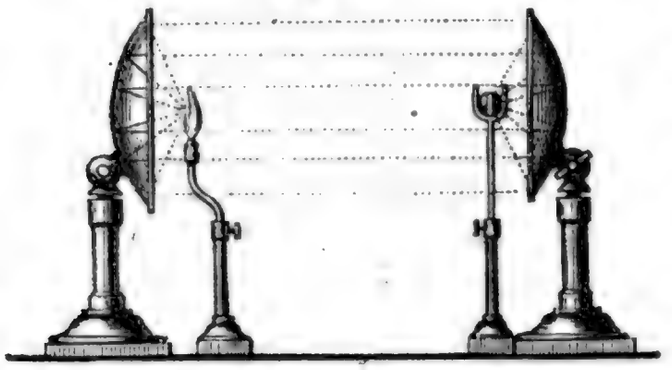
Fig. 351.



Wenn man zwei große sphärische oder paraboliſche Hohlspiegel von polirtem Messingblech, 5 bis 6 Meter von einander entfernt, so aufstellt, daß die Axen beider Spiegel in eine Linie zusammenfallen, wenn man als-

dann in den Brennpunkt des einen Spiegels ein Stück Zunder, in den Brennpunkt des andern aber eine fast weißglühende Eisenkugel oder eine glühende Kohle bringt, deren Verbrennung man durch einen Blasebalg lebhaft unterhält, so wird sich der Zunder alsbald entzünden, als ob er mit dem Feuer in Berührung wäre. Dieser Versuch zeigt, daß der glühende Körper Wärmestrahlen aussendet, denn es ist klar, daß der Zunder nicht etwa dadurch angezündet würde, daß die zwischenliegenden Luftschichten allmälig so stark erhitzt worden wären. Bringt man den Zunder aus dem Brennpunkte weg, so wird er nicht mehr entzündet, wenn man ihn auch dem glühenden Körper weit näher bringt.

Fig. 352.



Bringt man an die Stelle der glühenden Kugel eine Kugel von 300° und an die Stelle des Zunders ein gewöhnliches Thermometer, so wird das Thermometer rasch steigen; also auch die Kugel von 300° sendet Wärmestrahlen aus.

Wenn man die 300° heiße Kugel mit einem Gefäße voll kochenden Wassers oder mit Wasser von 90°, 80° oder 70° vertauscht, so beobachtet man vielleicht gar keine Temperaturerhöhung mehr am Thermometer; dies beweis't aber noch nicht, daß die Wände des Gefäßes bei dieser Temperatur keine Wärme mehr ausstrahlen, sondern nur, daß hier das gewöhnliche Thermometer nicht empfindlich genug ist. Man muß deshalb empfindlichere Instrumente zu Hülfe nehmen, etwa ein Luftthermometer, Rumford's oder Leslie's Differentialthermometer oder Melloni's Thermomultiplicator.

Fig. 353.

Ein Luftthermometer kann man zu diesem Zwecke etwa so construiren, wie Fig. 353 zeigt. Eine Kugel von 3 bis 4 Centimeter Durchmesser ist an dem Ende einer Röhre angeblasen, deren Durchmesser ungefähr 1^{mm} beträgt; diese Röhre ist gekrümmt, wie man in der Figur sieht, und hat in der Mitte eine zweite Kugel, an ihrem andern Ende einen Trichter, damit die von *c* bis *d* stehende Flüssigkeit weder in die untere Kugel zurücksteigen, noch oben auslaufen kann. Wenn die Dimensionen des Instrumentes bekannt sind, so

kann man wohl ungefähr seine Empfindlichkeit berechnen, graduiren kann man es jedoch nicht, weil ja die Flüssigkeit dem atmosphärischen Drucke ausgesetzt bleibt und weil aus der unteren Kugel bald Luft aus-, bald eintritt.

Rumford's Differentialthermometer, Fig. 354, besteht aus zwei Glaskugeln, *a* und *b*, welche durch eine gebogene Glasröhre, deren horizontaler Theil 5 bis 6 Decimeter lang ist, verbunden sind. In dieser Röhre befindet sich ein Index von Alkohol oder Schwefelsäure, auf welchen von beiden Seiten die Luft der Kugeln drückt; er wird also nur dann an einer bestimmten Stelle stehen bleiben, wenn der Druck von beiden Seiten gleich ist. Die Stelle, welche der Index einnimmt, wenn die Temperatur beider Kugeln vollkommen gleich ist, ist der Nullpunkt der Theilung. Wird nun die eine Kugel mehr erwärmt als die andere, so wird der Index gegen die kältere Kugel hingetrieben, und seine Entfernung von dem Nullpunkte ist der Temperaturdifferenz der beiden Kugeln proportional.

Fig. 354.

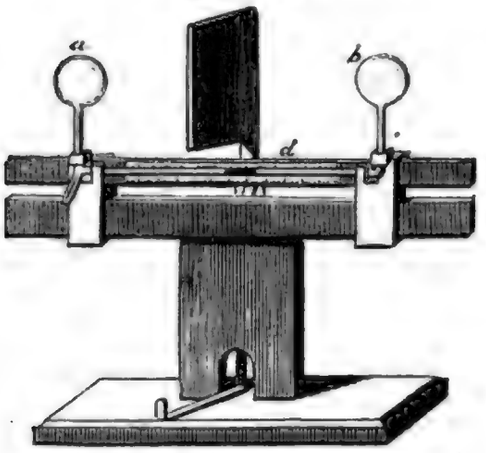
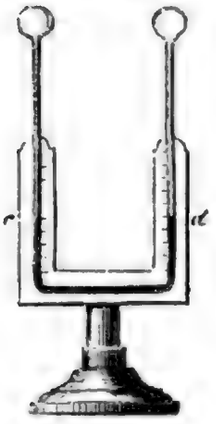
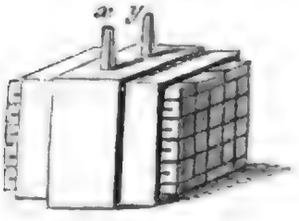


Fig. 355.



Leslie's Differentialthermometer, Fig. 355, ist auf ähnliche Weise construirt, nur sind seine Kugeln in der Regel etwas kleiner, die vertikalen Arme der sie verbindenden Röhre sind länger und stehen einander näher.

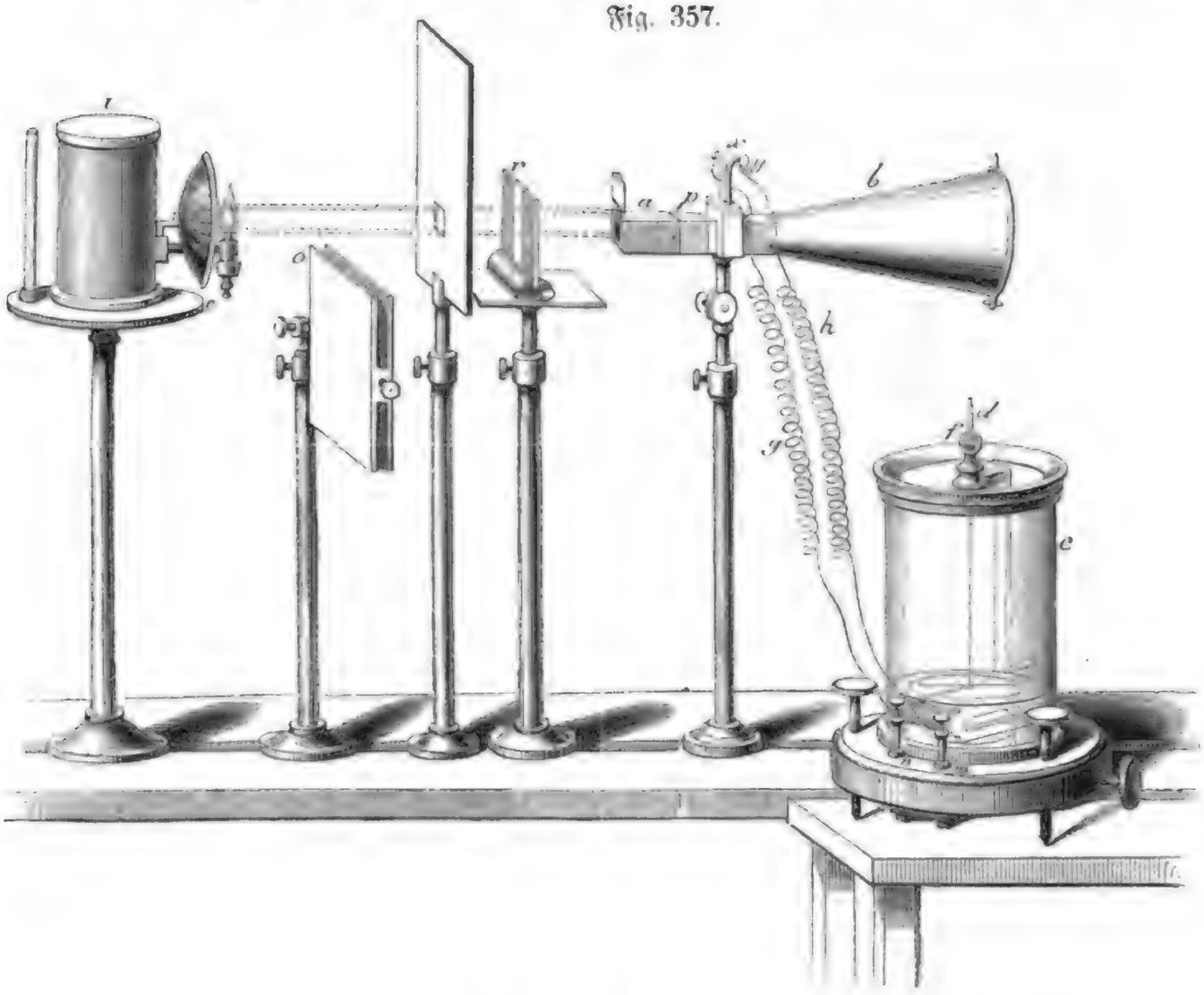
Fig. 356.



Melloni's Thermomultiplicator besteht aus einer thermoelektrischen Säule, Fig. 356, wie sie schon auf Seite 256 beschrieben wurde, und aus einem sehr empfindlichen Multiplicator. Die Säule ist sorgfältig an beiden Enden mit Ruß geschwärzt und mit ihrer Fassung bei *p*, Fig. 357, auf ein Stativ gebracht; die Hülsen *a* und *b* dienen dazu, die Luftströmungen und die Seitenstrahlungen von der Säule abzuhalten; da die Hülse *b* conisch ist, so dient sie auch, um von dieser Seite her die Wärmestrahlen mehr zu concentriren, wenn

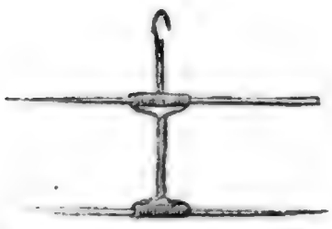
es nöthig iſt. Der Kupferdraht, welcher das Galvanometer bildet, iſt

Fig. 357.



7 bis 8 Meter lang und iſt mit 40 Windungen auf einen Metallrahmen aufgewunden. Die wohl ausgewählten, magnetiſirten und mit Sorgfalt compenſirten Nadeln ſind mit einander verbunden, wie Fig. 358 zeigt; dieſes Syſtem iſt alsdann an einem Coconfaden aufgehängt, welcher in der Mitte einer Glasglocke *c*, Fig. 357, aufgehängt iſt. Durch Drehen an dem Knopfe *f* läßt ſich der Coconfaden mit den Nadeln etwas heben oder ſenken. Der Apparat wird auf einem hinlänglich feſten Tiſche gehörig ins Niveau geſtellt, ſo daß der Faden gerade in der Mitte des Theilkreiſes hängt und ſo gerichtet, daß die Nadeln, wenn ihre Ebene in den magnetiſchen Meridian fällt, auf den Nullpunkt der Theilung zeigen.

Fig. 358.



Um die Verbindung zwiſchen der thermoelektriſchen Säule und dem Multiplicator herzuſtellen, dienen die leicht ausdehnbaren Drahtſpiralen *g*

und h, welche bei x und y mit den beiden Enden der thermoelektrischen Säule, bei m und n mit den Enden des Multiplicatordrahtes in leitender Verbindung stehen. Die geringste Temperaturdifferenz zwischen den beiden geschwärzten Enden der Säule bewirkt nun schon eine Ablenkung der Nadel, die man auf dem getheilten Kreise ablesen kann.

Man muß hier wohl den anfänglichen Ausschlag von dem eigentlichen Ausschlagswinkel, d. h. von dem Winkel unterscheiden, welchen die Nadel mit dem magnetischen Meridian macht, wenn sie in ihrer neuen Gleichgewichtslage zur Ruhe gekommen ist. Wenn die Nadel durch die Einwirkung des Stromes aus dem magnetischen Meridiane herausgetrieben wird, so kommt sie in ihrer neuen Gleichgewichtslage mit einer bestimmten Geschwindigkeit an, welche sie noch weiter forttreibt; auf dem Rückwege geht die Nadel abermals über ihre Gleichgewichtslage hinaus, und so kommt sie erst nach einer Reihe von Schwingungen, welche immer kleiner werden, zur Ruhe.

Um nicht immer warten zu müssen, bis die Nadel zur Ruhe kommt, hat Melloni durch Versuche das Verhältniß zwischen dem ersten und dem definitiven Ausschlage zu ermitteln gesucht, d. h. er bestimmte durch Versuche, wie groß der definitive Ausschlag ist, welcher einem jeden anfänglichen Ausschlage entspricht. Eine solche Beziehung, welche natürlich für jeden Apparat besonders ermittelt werden muß, bietet den großen Vortheil, daß ein jeder Versuch nur 10 bis 12 Sekunden dauert, während er mehrere Minuten dauern würde, wenn man warten müßte, bis die Nadel zur Ruhe gekommen ist.

Die Beziehung, welche zwischen der Ablenkung der Nadel und der Temperaturdifferenz der Löthstellen der Säule stattfindet, läßt sich zwar nicht auf eine absolute, aber doch auf eine relative Weise ermitteln. Nachdem Melloni gezeigt hatte, daß die Stromstärke einer Säule von Wismuth und Antimon der Temperaturdifferenz der Löthstellen proportional ist, kam es darauf an zu ermitteln, in welchem Verhältnisse die Ablenkung der Nadel zur Stromstärke steht. Zu diesem Zwecke brachte Melloni auf jeder Seite der Säule eine constante Wärmequelle, etwa eine Locatelli'sche Lampe, in solcher Entfernung an, daß die eine, für sich allein wirkend, eine Ablenkung von etwa 40^0 nach der rechten, die andere aber für sich allein eine Ablenkung von 35^0 nach der linken Seite bewirkte; läßt man nun beide Wärmequellen gleichzeitig wirken, so erhält man eine Ablenkung von 15^0 nach der rechten Seite. Eine Ablenkung von 5^0 zwischen 35 und 40^0 entspricht also einer Ablenkung von 15^0, von 0 an gerechnet. Man begreift nun, wie man durch Abänderung dieser Versuche eine Tabelle entwerfen kann, deren erste Columne die beobachteten Ablenkungen, die zweite aber die entsprechende Anzahl von Graden enthält, welche man

erhalten würde, wenn die Ablenkung ſtets der Stromſtärke proportional wäre, wenn alſo die Wirkung des Stromes auf die Nadel nicht um ſo ſchwächer wäre, je mehr ſie abgelenkt iſt. Für den Apparat, mit welchem Melloni ſeine Verſuche anſtellte, waren die Zahlen in beiden Columnen bis 20° ganz gleich, d. h. bis 20° iſt die Ablenkung der Nadel der Stromſtärke proportional; den beobachteten Ablenkungen 25, 30, 35, 40 und 45° entſprechen aber die Werthe 27, 35, 47, 62 und 83° der zweiten Columne. Ein Strom alſo, welcher eine Ablenkung von 40° bewirkt, iſt 62mal ſtärker als ein anderer, welcher nur eine Ablenkung von 1° hervorbringt. Melloni hat jedoch ſeine Verſuche ſo eingerichtet, daß die Ablenkungen ſtets kleiner als 30° waren.

Kehren wir nun wieder zu unſeren Verſuchen zurück; wenn man in den Brennpunkt des einen Spiegels einen der eben beſchriebenen Apparate, in den Brennpunkt des andern aber irgend einen Körper von 1 bis 2 Centimeter Ausdehnung bringt, ſo wird ſich zeigen, daß dieſer ſtets Wärme ausſtrahlt, ſobald ſeine Temperatur nur etwas die Temperatur der Umgebung überſteigt. Wenn man den Verſuch in einem Zimmer anſtellt, deſſen Temperatur unter 0° iſt, ſo wird ein Stück ſchmelzenden Eiſes, in den Brennpunkt des einen Spiegels gebracht, die Temperatur im andern Brennpunkte erhöhen.

Wenn die Temperatur der Umgebung über 0° iſt, ſo wird ein Stück Eis, in den Brennpunkt des einen Hohlſpiegels gebracht, das Sinken eines Thermometers veranlaſſen, welches ſich im Brennpunkte des andern Hohlſpiegels befindet. Dies beweiſ't aber nicht, daß eine Kälteſtrahlung ſtattfindet, das Thermometer ſinkt, weil es mehr Wärme nach dem Eiſe ausſtrahlt, als es von dem Eiſe zurückempfängt.

Wenn man des Nachts einen Hohlſpiegel gegen den heitern Himmel richtet, ſo wird ein Thermometer, welches im Brennpunkte dieſes Hohlſpiegels ſich befindet, ſinken müſſen, weil es ſeine Wärme nach dem freien Himmelsraume ausſtrahlt, ohne daß von dorther ſein Wärmeverluſt erſetzt wird.

Wenn man Melloni's Thermomultiplicator anwendet, ſo hat man gar keine Hohlſpiegel mehr nöthig, um die Wärmeſtrahlung nachzuweiſen, man braucht nur an dem einen Ende der thermoelektriſchen Säule die coniſche Hülſe *b* anzuſetzen, welche die Wärmeſtrahlen etwas concentrirt; wenn man in einer Entfernung von mehreren Schritten die Hand gegen die Oeffnung der Hülſe *b* hält, ſo iſt die von ihr ausgehende Wärmeſtrahlung ſchon hinreichend, um die Nadel bedeutend abzulenken.

164 **Wärmeſtrahlungsvermögen der Körper.** Das Vermögen der Körper, die Wärme auszuſtrahlen, iſt ſehr ungleich und hängt weſentlich von dem Zuſtande der Oberflächen ab; im Allgemeinen ſtrahlen die Ober-

flächen der weniger dichten Körper unter sonst gleichen Umständen mehr Wärme aus als die Oberflächen dichter Körper. Die Ungleichheit des Strahlungsvermögens verschiedener Oberflächen hat Leslie folgendermaßen nachgewiesen: Er brachte in den Brennpunkt eines Hohlspiegels die eine Kugel seines Differentialthermometers und stellte in einiger Entfernung in der Axe des Hohlspiegels einen hohlen mit heißem Wasser gefüllten Würfel von Messingblech auf, dessen Seite 15 bis 18 Centimeter lang war; die eine Seitenfläche dieses Würfels war mit Ruß überzogen, eine andere polirt; wurde nun die polirte Fläche dem Spiegel zugekehrt, so war die Wirkung auf das Differentialthermometer bei weitem geringer, als wenn man die berußte Fläche dem Spiegel zukehrte; die mit Ruß geschwärzte Fläche strahlt also weit mehr Wärme aus als die polirte Metallfläche.

Diese Methode ist zwar ganz geeignet, um die Unterschiede im Strahlungsvermögen sichtbar zu machen; um aber genauere Vergleichungen anzustellen, ist Melloni's Verfahren bei weitem vorzüglicher; er stellte in passender Entfernung von der Thermosäule einen Hohlwürfel von Messingblech auf, dessen Seite 7 bis 8 Centimeter lang und welcher mit heißem Wasser gefüllt war, welches durch eine Weingeistlampe auf constanter Temperatur erhalten wurde; die Seitenflächen dieses Würfels waren auf verschiedene Weise präparirt, nämlich eine mit Ruß, eine mit Bleiweiß, eine mit Tusch überzogen und eine polirt. Je nachdem die eine oder die andere Seitenfläche dem Thermomultiplicator zugekehrt ist, sind die Ablenkungen der Nadel sehr ungleich, aus den beobachteten Ablenkungen ergiebt sich dann ohne Weiteres das Verhältniß, in welchem die Emissionsfähigkeit der verschiedenen Flächen zu einander steht. Auf diese Weise wurde das Ausstrahlungsvermögen folgender Körper bestimmt:

Kienruß	100	Tusch	85
Bleiweiß. . . .	100	Gummilack . .	72
Hausenblase. .	91	Metallfläche . .	12.

Wenn man also mit 100 das Ausstrahlungsvermögen des Kienrusses bezeichnet, so ist das Ausstrahlungsvermögen einer polirten Metallfläche gleich 12, also nur $\frac{12}{100}$ von der der Kienrußfläche.

Melloni hat gezeigt, daß das Strahlungsvermögen eines und desselben Metalls von seiner Dichtigkeit abhängt, denn eine gegossene Platte strahlt mehr Wärme aus als eine gehämmerte und gewalzte. Wenn man die Oberfläche einer gehämmerten polirten Metallplatte ritzt, so wird ihr Strahlungsvermögen erhöht, weil durch das Ritzen weniger dichte Stellen bloßgelegt werden; eine solche Erhöhung des Strahlungsvermögens durch

Ritzen tritt bei gegossenen und ohne Druck polirten Metallplatten nicht ein, ja bei solchen wird sogar das Strahlungsvermögen etwas vermindert, weil beim Ritzen immer ein geringer Druck ausgeübt, also die Dichtigkeit an einigen Stellen des Metalls etwas vergrößert wird.

Bei solchen Körpern, deren Dichtigkeit durch Druck nicht geändert werden kann, wie Marmor, Glas u. s. w., hat das Ritzen der Oberfläche gar keinen Einfluß auf das Strahlungsvermögen.

Nachdem wir das Emissionsvermögen der Körper betrachtet haben, ist zu untersuchen, was aus den Wärmestrahlen wird, welche irgend einen Körper treffen; es sind hier nur folgende Fälle möglich: entweder werden die Wärmestrahlen absorbirt, oder sie werden an seiner Oberfläche zurückgeworfen, oder sie werden durchgelassen. Wir wollen nun diese einzelnen Fälle der Reihe nach betrachten.

165 **Absorption der Wärmestrahlen.** Jeder Körper hat das Vermögen, Wärmestrahlen, die, von einem andern Körper kommend, ihn treffen, mehr oder weniger zu absorbiren; dies ergiebt sich schon aus den eben besprochenen Versuchen, denn die Körper erwärmen sich in dem Brennpunkte des einen Hohlspiegels nur deshalb, weil sie die Wärmestrahlen absorbiren, welche durch die Spiegel auf ihnen concentrirt werden. Daß dies Vermögen aber allen Körpern zukommt, ergiebt sich daraus, daß alle, den Sonnenstrahlen ausgesetzt, eine Temperatur annehmen, welche höher ist als die Temperatur der Luft.

Das Absorptionsvermögen ist nicht für alle Körper gleich, was schon daraus hervorgeht, daß sie nicht gleiches Emissionsvermögen haben, denn eine Oberfläche, welche leicht Wärmestrahlen aussendet, muß umgekehrt auch die Fähigkeit haben, diese Strahlen einzusaugen. Die Ungleichheit des Absorptionsvermögens läßt sich schon durch einen einfachen Versuch zeigen: Man setze nur ein Thermometer, dessen Kugel geschwärzt ist, den Sonnenstrahlen aus, so wird es weit höher steigen als ein anderes, dessen Kugel nicht geschwärzt ist; die geschwärzte Oberfläche der einen Thermometerkugel absorbirt also offenbar mehr Wärmestrahlen als die glänzende Oberfläche der andern.

Die von einem Körper absorbirten Wärmestrahlen sind es also, welche ihn erwärmen; wenn also ein Körper durch Wärmestrahlung möglichst stark erwärmt werden soll, so muß man ihn mit einem Ueberzuge versehen, welcher die Wärmestrahlen stark absorbirt; man überzieht deshalb auch alle Thermoskope, welche dazu dienen sollen, die Wirkungen der Wärmestrahlung recht merklich zu machen, die Kugeln der Differentialthermometer, die beiden Enden der thermoelektrischen Säule mit Ruß, weil dieser unter allen bekannten Körpern das stärkste Absorptionsvermögen hat.

Wir haben oben gesehen, daß metallische Oberflächen nur ein sehr

geringes Emissionsvermögen besitzen, und daraus folgt, daß sie die Wärmestrahlen auch nur in einem sehr geringen Maaße, einzusaugen im Stande sind.

Weiter unten, wenn wir die ungleiche Natur der verschiedenen Wärmestrahlen werden kennen gelernt haben, wird von dem Absorptionsvermögen noch ausführlicher die Rede seyn.

Reflexion und Diffusion der Wärmestrahlen. Im Allgemeinen 166
haben die Körper die Fähigkeit, einen Theil der sie treffenden Wärmestrahlen ganz in der Weise zurückzuwerfen, wie sie auch die Lichtstrahlen regelmäßig oder unregelmäßig reflectiren. Die Spiegel, die uns zu den obigen Versuchen dienten, geben uns einen entscheidenden Beweis für die Reflexion der Wärmestrahlen, denn sie erwärmen sich selbst bei dem Versuche mit dem Zunder nicht. Ein einfacher Schluß überzeugt uns, daß die meisten Körper dieses Reflexionsvermögen besitzen müssen und daß es dem Absorptionsvermögen so zu sagen complementär ist, denn die Summe der absorbirten und der reflectirten Wärmestrahlen muß doch offenbar der Gesammtheit der einfallenden Strahlen gleich seyn, vorausgesetzt, daß der Körper keine Wärmestrahlen durchläßt. Wenn also das Reflexionsvermögen größer ist, so ist das Absorptionsvermögen geringer, und umgekehrt. Ein Körper, der gar keine Wärmestrahlen reflectirt, muß alle Strahlen absorbiren, wie dies in der That bei solchen Oberflächen der Fall ist, die man sorgfältig mit Ruß überzogen hat; polirte Metallflächen dagegen, welche ein großes Reflexionsvermögen besitzen, absorbiren nur sehr wenig Wärmestrahlen.

Die Wärmestrahlen werden ganz nach denselben Gesetzen reflectirt wie die Lichtstrahlen, d. h. der Reflexionswinkel ist dem Einfallswinkel gleich; dies geht schon aus den Versuchen mit den Hohlspiegeln hervor, da ja die Brennpunkte für die Wärmestrahlen mit denen der Lichtstrahlen zusammenfallen.

So wie an der Oberfläche eines nicht ganz vollständig polirten Körpers Lichtstrahlen nach allen Seiten unregelmäßig zerstreut werden, so erleiden auch die Wärmestrahlen an der Oberfläche der meisten Körper eine Diffusion. Man kann sich davon durch folgenden Versuch überzeugen. Man lasse durch eine Oeffnung in dem Laden eines dunklen Zimmers Sonnenstrahlen auf eine der Oeffnung gegenüberliegende Wand fallen, so wird der erleuchtete Fleck derselben, welcher von allen Seiten her sichtbar ist, weil er das Sonnenlicht nach allen Seiten hin zerstreut, auch die Wärmestrahlen unregelmäßig zerstreuen, also nach allen Seiten hin Wärmestrahlen aussenden, als ob er selbst eine Wärmequelle wäre. Diese Diffusion der Wärmestrahlen wird sichtbar, wenn man dem hellen Flecke die thermoelektrische Säule zukehrt; man erhält einen Ausschlag der Nadel,

an welcher Stelle des Zimmers man auch das Instrument aufstellen mag; die Wirkung kann also nicht von einer regelmäßigen Reflexion herrühren; daß sie aber auch nicht die Folge einer Erwärmung der von den Sonnenstrahlen beschienenen Stelle der Wand ist, geht daraus hervor, daß die Nadel auf der Stelle wieder auf den Nullpunkt der Theilung zurückgeht, sobald man die Oeffnung im Laden verschließt.

Auch von der Diffusion der Wärmestrahlen wird weiter unten noch ausführlicher die Rede seyn.

167 **Fähigkeit der Körper, Wärmestrahlen durchzulassen.** Daß feste Körper Wärmestrahlen in derselben Weise durchlassen können, wie durchsichtige Körper die Lichtstrahlen, geht schon daraus hervor, daß man im Stande ist, brennbare Körper zu entzünden, wenn man sie in den Brennpunkt einer den Sonnenstrahlen ausgesetzten Linse hält. Genauere Untersuchungen wurden erst durch die thermoelektrische Säule möglich, und Melloni hat mit Hülfe derselben eine Reihe höchst wichtiger Untersuchungen über den Durchgang der Wärmestrahlen durch verschiedene Körper angestellt.

Diejenigen Körper, welche die Wärmestrahlen aufhalten, wie die undurchsichtigen Körper die Lichtstrahlen, nennt Melloni atherman, solche Körper hingegen, welche sich gegen die Wärmestrahlen verhalten wie die durchsichtigen Körper gegen die Lichtstrahlen, nennt er diatherman. Die Luft ist also ein diathermaner Körper, und wir werden sogleich sehen, daß auch sehr viele feste und flüssige Körper, wenn auch in sehr ungleichem Maaße, diatherman sind.

Die Versuche über den Durchgang der Wärmestrahlen wurden mit dem schon oben näher beschriebenen Apparate, Fig. 359, angestellt; als Wärmequellen dienten die Locatelli'sche Lampe *i*, eine Spirale von Platindraht, Fig. 360, welche durch eine Alkoholflamme rothglühend erhalten wurde; ein geschwärztes Kupferblech, Fig. 361, welches durch eine Weingeistlampe auf 400° erwärmt war, und endlich ein hohler Würfel, Fig. 362, von Messinglech, welcher mit heißem Wasser gefüllt war, das durch eine Lampe auf constanter Temperatur erhalten wurde. Diese constanten Wärmequellen wurden der Reihe nach auf den Träger *e* gesetzt. Der Schirm *o*, welcher aus zwei Messingplatten zusammengesetzt und um ein Charnier drehbar ist, kann zwischen die Wärmequelle und die Thermosäule gebracht werden, so daß man in jedem Augenblicke die Wärmestrahlung von der Thermosäule abhalten kann: die Platten endlich, welche man in Beziehung auf ihre Fähigkeit, Wärmestrahlen durchzulassen, untersuchen will, werden bei *r* aufgestellt.

Die Versuche wurden in folgender Weise angestellt: Die Wärmequelle wurde in eine solche Entfernung gebracht, daß sie eine Ablenkung der Nadel

bis auf 30° hervorbrachte; wurden nun die Wärmestrahlen durch eine bei *r* aufgestellte Platte des zu untersuchenden Körpers aufgefangen, so ging

Fig. 359.

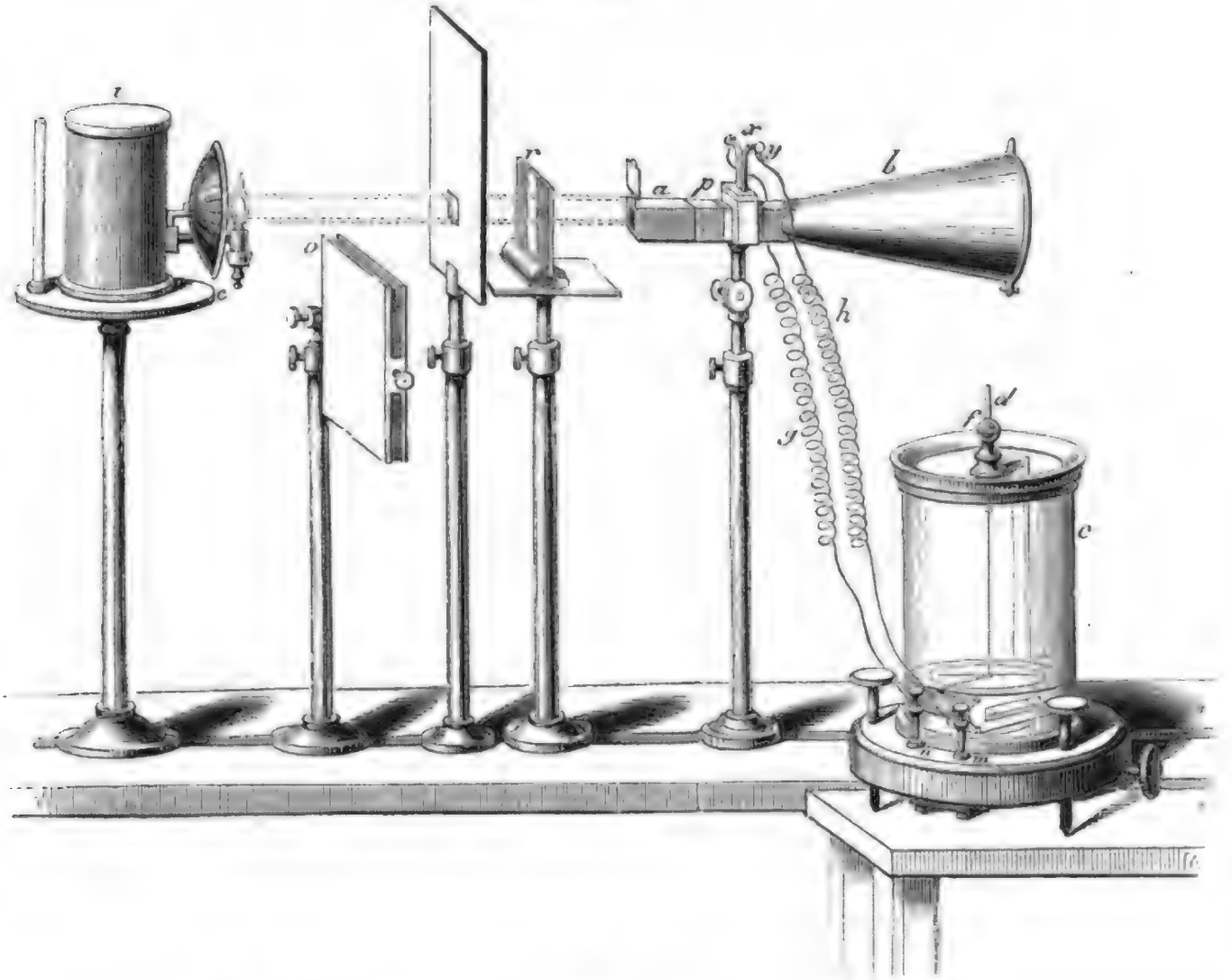


Fig. 360.

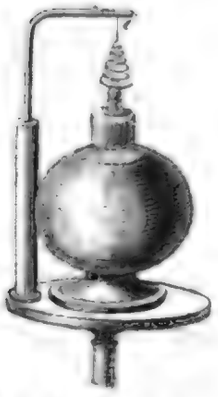


Fig. 361.

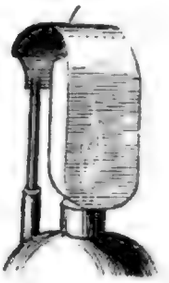
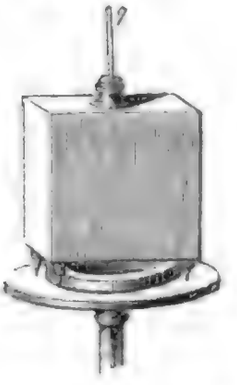


Fig. 362.



die Nadel bald mehr, bald weniger zurück, und so ergab sich, daß gleich dicke und gleich durchsichtige Platten verschiedener Körper nicht gleiche Mengen strahlender Wärme durchlassen. Bewirkt z. B. die freie Strahlung der Wärmequelle eine Ablenkung von 30°, so wird die Nadel auf 28° zurück-

gehen, wenn man eine 3 bis 4 Millimeter dicke Steinsalzplatte bei r aufstellt, während eine gleich dicke Quarzplate die Nadel auf 15 bis 16° zurückgehen macht; das Steinsalz läßt also die Wärmestrahlen bei weitem besser durch als der Bergkrystall. Manche weniger durchsichtige Körper lassen sogar die Wärmestrahlen besser durch als andere, die ganz durchsichtig sind. Während z. B. eine ganz durchsichtige Alaunplatte die Ablenkung der Nadel von 30° auf 3 bis 4° reducirt, bringt eine noch weit dickere Platte von Rauchtopas die Nadel nur auf 14 bis 15° zurück. Ja mancher fast ganz undurchsichtige Körper, wie schwarzes Glas und schwarzer Glimmer, lassen noch ziemlich viele Wärmestrahlen durch.

Aus den beobachteten Ablenkungen ergeben sich folgende Werthe für die Fähigkeit verschiedener Körper, die Wärmestrahlen durchzulassen.

Namen der Körper.	Locatelli'sche Lampe.	Glühende Platinspirale.	Geschwärztes bis zu 400° erwärmtes Kupferblech.	Geschwärztes bis zu 100° erwärmtes Messingblech.
Freie Strahlung der Wärmequelle	100	100	100	100
Steinsalz	92	92	92	92
Flußspath, klar, farblos . . .	78	69	42	33
Kalkspath	39	28	6	0
Spiegelglas	39	24	6	0
Bergkrystall	38	28	6	0
Gyps, krystallisirt	14	5	0	0
Citronensäure	11	2	0	0
Alaun	9	2	0	0
Schwarzes Glas, 1^{mm} dick . .	26	25	12	0
Schwarzer Glimmer, 0,9^{mm} dick	20	20	9	0
Eis	6	0	0	0

Wo die Dicke der Platte nicht bemerkt ist, betrug sie 2,6 Millimeter.

Die Betrachtung dieser Tabelle führt uns zu sehr wichtigen Folgerungen. Wir sehen, daß das Steinsalz die Strahlen aller Wärmequellen mit gleicher Leichtigkeit durchläßt, was bei allen anderen angeführten Substanzen nicht der Fall ist. Wir sehen z. B., daß eine Flußspathplatte 78 Procent der Strahlen durchläßt, welche von der Locatelli'schen Lampe kommen, aber nur 33 Procent der Wärmestrahlen, welche von einer berußten, bis zu

100° erwärmten Metallfläche ausgestrahlt werden. Das schwarze Glas läßt die Wärmestrahlen der Locatelli'schen Lampe und der glühenden Platinspirale fast gleich gut durch, von der ersteren Quelle nämlich 26, von der zweiten 25 Procent; es läßt gar keine der Wärmestrahlen durch, welche von der vierten, und nur 12 Procent der Strahlen, welche von der dritten Wärmequelle kommen.

Daraus geht hervor, daß die Wärmestrahlen, welche von den verschiedenen Wärmequellen kommen, nicht ganz gleicher Natur sind, denn sonst müßte jeder Körper die Strahlen aller Wärmequellen in gleichem Verhältnisse durchlassen. Dieser Unterschied in der Natur der Wärmestrahlen treten aber noch deutlicher hervor, wenn man die Wärmestrahlen durch mehrere hinter einander aufgestellte Körper gehen läßt.

Läßt man die Wärmestrahlen, welche durch eine Glasplatte gegangen sind, auf eine Alaunplatte fallen, so werden sie gänzlich absorbirt, während doch eine Alaunplatte fast alle Wärmestrahlen durchläßt, welche zuvor durch eine Platte von Citronensäure gegangen sind. Diese Erscheinung hat die größte Aehnlichkeit mit dem Durchgange des Lichts durch gefärbte Mittel; Lichtstrahlen, welche durch ein grünes Glas gegangen sind, werden bekanntlich von andern grünen Gläsern leicht durchgelassen, sie werden aber absorbirt, wenn man sie auf ein rothes Glas fallen läßt; die Unterschiede zwischen den Wärmestrahlen sind also den Verschiedenheiten der Farben beim Lichte ganz analog.

Melloni nannte die Eigenschaft der Körper, gewisse Wärmestrahlen vorzugsweise absorbiren, andere hingegen vorzugsweise durchzulassen, Diathermansie; man könnte diese Eigenschaft nach Pouillet's Vorschlage auch Thermanismus, die Körper aber, welchen sie zukommt, thermanisirende nennen. Thermanisirte Wärmestrahlen wären demnach solche, welchen dadurch, daß sie einen thermanisirenden Körper durchdrungen haben, gleichsam eine Wärmefärbung erhalten haben, wie den Lichtstrahlen, indem sie durch farbige Gläser gehen, eine bestimmte Farbe ertheilt wird. Das Steinsalz ist der einzige bis jetzt bekannte feste diathermane Körper, welcher die Wärmestrahlen nicht thermanisirt, denn das Steinsalz läßt ja alle Wärmestrahlen gleich gut durch, es verhält sich gegen die Wärmestrahlen wie ein farbloser durchsichtiger Körper gegen das Licht.

Wenn man mit 100 die Intensität der Wärmestrahlen bezeichnet, welche auf eine Steinsalzplatte fallen, so ist die Intensität der durchgelassenen Strahlen nach unserer Tabelle 92, oder genauer 92,3, der Rest der auffallenden Strahlen, welcher nicht durch die Platte hindurchgeht, ist 7,8 oder ungefähr $1/13$ der einfallenden Strahlen; dieser Rest kann nun entweder absorbirt, oder an den beiden Oberflächen der Steinsalzplatte rechtwinklig reflectirt worden seyn; in der That findet nur das Letztere

d. h. im Steinsalz findet gar keine merkliche Absorption der Wärmestrahlen Statt. Zu diesem Schlusse ist man schon dadurch berechtigt, daß die Dicke einer Steinsalzplatte gar keinen Einfluß auf die Quantität der durchgelassenen Wärmestrahlen ausübt; eine Steinsalzplatte von 1 Millimeter Dicke läßt die Wärmestrahlen nicht besser durch als eine andere, welche mehrere Centimeter dick ist.

Dieser Schluß wird durch folgende Versuche zur Gewißheit.

Bringt man einmal eine 8 Millimeter dicke Glasplatte, dann aber 6 Glasplatten von derselben Glassorte in den Apparat, welche zusammen 8 Millimeter dick sind, so wird sich die Menge der Wärmestrahlen, welche die eine Platte durchläßt, zu der, welche durch die 6 Platten geht, wie 23 zu 15 verhalten. In beiden Fällen ist der Verlust durch Absorption ganz derselbe; wenn also das System von 6 Platten weniger Wärmestrahlen durchläßt, so kann dies nur eine Folge der mehrfachen Reflexionen seyn. Weil die Absorption in der einen dicken Platte dieselbe Wirkung ausübt, wie in den 6 dünnen, so kann man sie ganz unberücksichtigt lassen, man kann annehmen, sie sey gleich Null, oder auch, es wären nur Strahlen von einer solchen Wärmefärbung eingefallen, daß sie gar nicht vom Glase absorbirt werden; bezeichnen wir unter dieser Voraussetzung mit 1 die Intensität der einfallenden Strahlen, mit r den durch die Reflexion an den beiden Oberflächen hervorgebrachten Verlust, so ist die Intensität der Wärmestrahlen, welche durch eine Platte durchgehen, $1 - r$; die Itensität der Wärmestrahlen, welche die 6 Platten durchlaufen haben, wird demnach $(1 - r)^6$ seyn. Die Wärmemenge, welche durch eine Platte hindurchgeht, verhält sich demnach zu der, welche die 6 Platten durchlassen, wie $1 - r$ zu $(1 - r)^6$ oder wie 1 zu $(1 - r)^5$. Nach dem Versuche verhalten sich aber diese Wärmemengen wie 23 zu 15, wir haben also

$$23 : 15 = 1 : (1 - r)^5,$$

und daraus folgt $(1 - r)^5 = 0{,}65217 \ldots$, also $1 - r = 0{,}918$ und $r = 1 - 0{,}918 = 0{,}082$. Aus diesem Versuche ergiebt sich also für den Verlust durch Spiegelung an den beiden Flächen einer Glasplatte der Werth 0,082, was fast gleich $1/13$ und dem entsprechenden Werthe für Steinsalz ganz gleich ist. Bergkrystall, senkrecht auf die Axe geschnitten, giebt denselben Werth, und man kann daraus folgende Schlüsse ziehen

1) Das Steinsalz läßt die Wärmestrahlen ohne merkliche Absorption durch;

2) die rechtwinklige Reflexion an der ersten und zweiten Oberfläche einer Platte von Steinsalz, Glas oder Quarz beträgt nur $1/13$ der einfallenden Wärmestrahlen.

168 **Einfluß der Dicke diathermaner Platten auf die Durchlassung der Wärmestrahlen.** Wir haben gesehen, daß das Steinsalz keine merkliche Absorption auf die Wärmestrahlen ausübt, wenigstens wenn die

Platten nur 3 bis 4 Centimeter dick sind; das Steinsalz ist aber auch der einzige vollkommen diathermane Körper; alle anderen Körper absorbiren mehr oder weniger Wärmestrahlen, die Größe der Absorption hängt aber nicht allein von der Natur der Wärmequelle, sondern auch von der Dicke der Platten ab.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate, welche in dieser Hinsicht für Glas, durchsichtigen Bergkrystall, Rauchtopas, Rüböl und destillirtes Wasser beobachtet wurden.

Dicke in Millimetern	Glas von St. Gobin			Durchsichtiger Bergkrystall			Rauchtopas			Rüböl		Destillirtes Wasser	
	Kupfer von 400°	Glühendes Platin	Locatelli'sche Lampe	Kupfer von 400°	Glühendes Platin	Locatelli'sche Lampe	Kupfer von 400°	Glühendes Platin	Locatelli'sche Lampe	Glühendes Platin	Locatelli'sche Lampe	Glühendes Platin	Locatelli'sche Lampe
0,5	14,4	62,1	77,5	14,8	69,5	78,6	15,4	70,0	81,7	32,0	64,0	8,7	25,1
1,0	9,9	51,5	73,3	11,3	65,1	76,8	12,3	65,0	78,6	22,8	48,3	5,7	19,3
1,5	6,7	46,1	70,4	9,7	62,5	74,8	„	„	„	18,7	41,0	4,2	16,0
2,0	5,0	42,8	68,2	8,7	60,6	73,3	9,1	60,3	75,1	16,3	36,1	3,2	13,9
2,5	„	„	66,6	„	„	72,5	„	„	„	„	32,7	„	„
3	2,9	38,3	65,3	7,3	57,6	71,8	7,8	57,4	73,1	13,6	30,6	2,0	11,4
4	2,0	35,8	63,4	6,6	55,3	70,8	7,0	54,8	71,4	12,0	27,8	1,5	10,0
5	1,5	34,0	62,0	6,0	53,3	70,2	„	„	„	10,8	25,7	1,1	9,1
6	1,4	32,3	60,9	5,3	51,4	69,8	„	„	„	9,8	23,9	1,0	8,6
7	1,2	30,9	60,0	5,0	49,8	69,5	„	„	„	8,9	22,6	0,8	8,2
8	1,1	29,7	59,2	4,6	48,4	69,3	„	„	„	8,1	21,8	0,6	8,0
9	„	„	„	„	„	„	„	„	„	7,5	21,2	0,5	7,8
10	„	„	„	„	„	„	„	„	„	7,1	21,0	0,4	7,7
11	„	„	„	„	„	„	„	„	„	6,7	20,9	0,3	7,7
50	„	„	„	„	„	„	„	„	„	2,1	12,5	0,0	2,4
86	„	„	„	„	„	„	0,7	35,0	59,0	„	„	„	„
100	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	8,1	0,0	1,3
150	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	6,1	0,0	0,7
200	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	5,3	„	„

Nicht alle Zahlen dieser Tabelle sind das unmittelbare Resultat des Versuchs, weil es nicht immer möglich war, Platten zu erhalten, welche

genau $^1/_2$, $^2/_2$, $^3/_2$ u. ſ. w. Millimeter dick waren; die Zahlen, welche dieſen Dicken entſprechen, wurden durch Interpolation aus den benachbarten beobachteten Werthen abgeleitet.

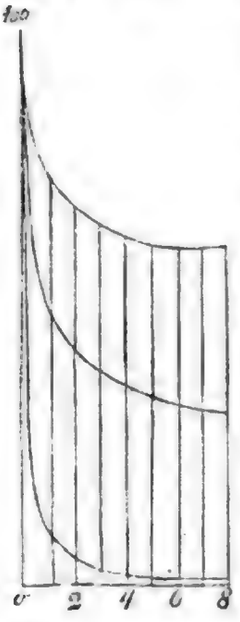
Das Rüböl wurde, um es dem Verſuche zu unterwerfen, in ein Behälter gegoſſen, welches auf beiden Seiten mit Steinſalzplatten begränzt war. Wenn die Dicke der Oelſchicht mehr als 3 Millimeter betrug, ſo war es gleichgültig, ob ſie zwiſchen Glasplatten oder zwiſchen Steinſalzplatten eingeſchloſſen war.

Nachdem ermittelt worden war, daß reines Waſſer ebenſo wirkt wie Salzwaſſer, war es leicht zu erkennen, daß eine Waſſerſchicht denſelben Effect hervorbringt, mag ſie nun zwiſchen Glasplatten oder zwiſchen Steinſalzplatten eingeſchloſſen ſeyn.

Man ſieht, daß für die fünf Körper die Abſorption bei einer Dicke von $^1/_2$ Millimeter ſchon ſehr beträchtlich und daß ſie um ſo bedeutender wird, je niedriger die Temperatur der Wärmequelle iſt.

Die Abſorption nimmt bei zunehmender Dicke anfangs raſch zu, ſie ſcheint ſich aber einer beſtimmten Gränze zu nähern, denn für eine bedeutende Dicke hat eine Vermehrung derſelben keinen merklichen Einfluß mehr. Es läßt ſich dies am beſten durch eine graphiſche Darſtellung der in unſerer Tabelle zuſammengeſtellten Reſultate überſehen. In Fig. 363 ſind die Abſciſſen der Dicke der Platten, die Ordinaten der Intenſität der Wärmeſtrahlen proportional, welche eine Glasplatte der entſprechenden Dicke durchläßt. Die oberſte Kurve entſpricht dem Falle, daß die einfallenden Strahlen von der Locatelli'ſchen Lampe kommen, die zweite gilt für das glühende Platin, die dritte für das auf 400° erwärmte Kupferblech.

Fig. 363.

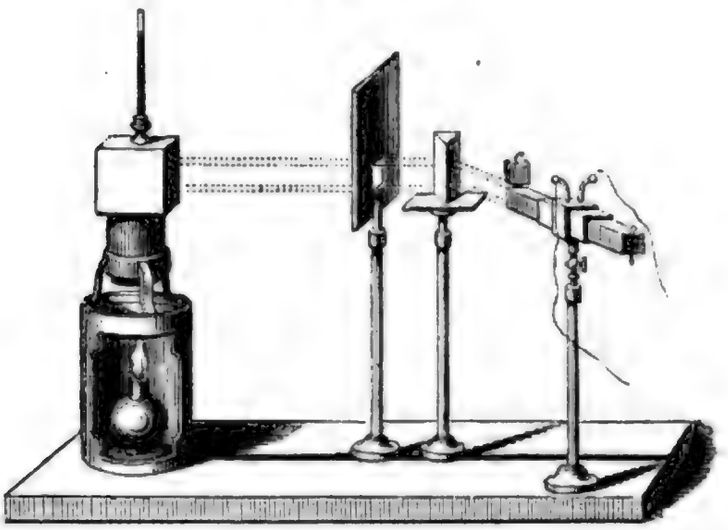


Wir ſehen aus dieſer Zuſammenſtellung auch, daß die Wärmeſtrahlen der verſchiedenen Wärmequellen aus ſehr verſchieden abſorbirbaren Elementen beſtehen; um die Strahlen der einen Quelle faſt vollſtändig zu abſorbiren, iſt nur eine ſehr geringe Dicke nöthig, während andere Strahlen ſelbſt bei einer ſehr bedeutenden Dicke der Abſorption widerſtehen. Die Wärmequellen von niedriger Temperatur enthalten im Allgemeinen eine größere Anzahl abſorbirbarer Elemente, wenigſtens für die in unſerer Tabelle enthaltenen Subſtanzen.

169 **Brechung der Wärmeſtrahlen.** Auf einem Statif, Fig. 364, wird eine Prisma von Steinſalz und in einiger Entfernung die Locatelli'ſche Lampe aufgeſtellt; man ſucht alsdann die Richtung, in welcher die von der Lampe ausgehenden Lichtſtrahlen für den Fall der geringſten Ab-

lenkung aus dem Prisma austreten und bringt dann die thermoelektrische Säule in diese Richtung; die Nadel wird alsbald abgelenkt; sie geht aber

Fig. 364.



sogleich wieder zurück, wenn man die von der Wärmequelle auf das Prisma fallenden Strahlen durch einen Schirm auffängt. Die Nadel wird auch noch abgelenkt, wenn man an die Stelle der Lampe eine glühende Platinspirale, das bis auf 400° erhitzte Kupferblech oder selbst den mit kochendem Wasser gefüllten Würfel setzt. Die Ablenkung der Nadel hört auf, wenn man die Säule etwas dreht, so daß sie aus der Richtung der gebrochenen Strahlen herauskommt. Die Strahlen der verschiedenen Wärmequellen werden also durch das Steinsalz gebrochen, und ihr Brechungsexponent ist von dem der Lichtstrahlen nicht merklich verschieden.

Wenn man mit Sonnenlicht und einem Steinsalzprisma operirt, welches ein sehr breites Spectrum giebt, so kann man die wahre Zusammensetzung der Sonnenwärme studiren; es ergiebt sich auf diese Weise, daß sie Elemente von sehr verschiedener Brechbarkeit enthält, die zum Theil noch brechbarer sind als das violette Licht, zum Theil aber noch weniger brechbar als die rothen Strahlen. Das Maximum der Wirkung des Wärmespectrums der Sonne liegt noch jenseits der Gränze des rothen Endes des Lichtspectrums. Es zeigt sich auch, daß die meisten thermanisirenden Körper vorzugsweise die weniger brechbaren Wärmestrahlen absorbiren, die brechbareren aber durchlassen; da sie nun aber auch die Wärmestrahlen absorbiren, welche von Wärmequellen niedriger Temperatur kommen, so folgt, daß durch Erhöhung der Temperatur vorzugsweise die Menge der brechbaren Wärmestrahlen vermehrt wird.

Man sieht wohl ein, daß die Sonnenspectra solcher Prismen, welche aus anderen Substanzen verfertigt sind, nicht dieselbe Vertheilung der Wärme zeigen können, we dieſe Substanzen die Wärmestrahlen in verschiedenem

Verhältnisse absorbiren. Diese Bemerkung reicht wohl hin, um die Verschiedenheit der Resultate zu erklären, welche die Physiker erhalten hatten, bevor Melloni das Princip des Thermanismus begründet hatte.

170 **Ungleichheit des Absorptions- und Diffusionsvermögens für die Strahlen verschiedener Wärmequellen.** Da die diathermanen Körper bald die Wärmestrahlen der einen, bald die der andern Wärmefarbe vorzugsweise absorbiren, so fragt es sich, ob nicht auch bei den athermanen Körpern etwas Aehnliches stattfindet, d. h. ob die athermanen Körper die Wärmestrahlen aller Arten mit gleicher Leichtigkeit absorbiren oder nicht?

Um diese Frage zu beantworten, stellte Melloni folgende Versuche an: Aus einer und derselben Kupfertafel wurde eine Anzahl Scheiben geschnitten, deren Durchmesser nur wenig größer war als der Durchmesser der äußern Oeffnung des an die thermoelektrische Säule angesetzten conischen Reflectors; alle diese Scheiben wurden auf der einen Seite durch Ruß geschwärzt, auf der andern Seite aber mit einem gleichmäßigen Anstriche der zu prüfenden Substanz versehen; diese Scheiben wurden nun nach einander dicht vor die Oeffnung des conischen Reflectors gebracht, indem die geschwärzte Seite der Säule, die andere aber der Wärmequelle zugekehrt war. Durch die an der Vorderseite absorbirten Wärmestrahlen wurde die Platte erwärmt und sandte in Folge dessen auf der andern Seite Wärmestrahlen nach der Säule. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche.

Namen der Körper	Glühendes Platin.	Kupfer von 400°.	Kupfer von 100°.
Kienruß	100	100	100
Bleiweiß	56	89	100
Hausenblase	54	64	91
Tusch	95	87	85
Gummilack	47	70	72
Blanke Metallfläche . .	13,5	13	13

Es ist hier das Absorptionsvermögen des Kienrusses mit 100 bezeichnet und damit das Absorptionsvermögen der anderen Körper verglichen worden, indem man einmal eine auf beiden Seiten berußte Scheibe und darauf die nur auf der einen Seite berußte, auf der andern mit dem zu untersuchenden Körper überstrichene vor die Säule setzte. Man sieht aus dieser Tabelle, daß das Bleiweiß bei weitem weniger Wärmestrahlen absorbirt als der Kienruß, wenn das glühende Platin als Wärmequelle dient; die von dem auf 400° erwärmten Kupferbleche ausgehenden Strahlen werden schon

vollständiger vom Bleiweiß absorbirt; die Wärmestrahlen endlich, welche von der nur auf 100° erwärmten Wärmequelle ausgehen, werden durch das Bleiweiß eben so vollständig absorbirt als vom Kienruß.

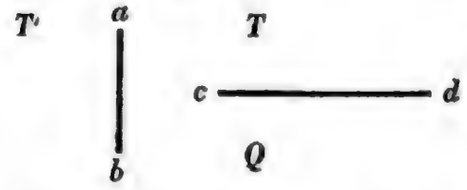
Der Tusch zeigt ein umgekehrtes Verhalten, er absorbirt die Strahlen, welche von einer Wärmequelle von geringer Temperatur herkommen, weniger gut als die vom glühenden Platin ausgesandten.

Das Bleiweiß absorbirt also vorzugsweise die weniger brechbaren Wärmestrahlen, der Tusch hingegen die brechbareren.

Der Kienruß absorbirt unter allen bekannten Körpern die Wärmestrahlen am vollständigsten, es folgt aber daraus doch noch nicht, daß er wirklich die Wärmestrahlen aller Wärmequellen in gleichem Verhältnisse absorbirt. Die vollständige Kenntniß der Art und Weise, wie der Kienruß die verschiedenen Wärmestrahlen absorbirt, ist von der höchsten Wichtigkeit, weil alle Thermoskope, welche man zur Untersuchung der strahlenden Wärme anwendet, mit Ruß überzogen sind. Bei allen Untersuchungen mit der Thermosäule wurde stillschweigend angenommen, daß der Kienruß alle Wärmestrahlen gleichförmig absorbire, und alle aus den Beobachtungen mit diesem Instrument gezogenen Folgerungen würden falsch seyn, wenn diese Voraussetzung unwahr wäre; Melloni hat die Richtigkeit dieser Voraussetzung durch folgende Versuche bewiesen.

Es sey ab eine auf beiden Seiten berußte Scheibe von Kupferblech,

Fig. 365.



welche 15 bis 20 Centimeter Durchmesser hat. Vor der Scheibe ab ist ein Metallschirm cd aufgestellt, welcher die Thermosäule in T vor der directen Wirkung der von der Wärmequelle Q ausgehenden Strahlen schützt. Die Thermosäule war am Ende einer horizontalen Alhidade befestigt, die um einen Stift drehbar war, welcher in der Richtung der durch den Mittelpunkt der Scheibe gehenden Vertikallinie lag, so daß man die Thermosäule leicht von T nach T' und wieder zurückbringen konnte. Zuerst wurde die Säule in die Lage T' gebracht; die Scheibe ab erwärmte sich durch die von Q ausgehenden und auf der Vorderseite von ab absorbirten Strahlen, und in Folge dieser Erwärmung sandte dann die hintere Seite der Scheibe selbst Wärmestrahlen nach der Thermosäule. Man rückte die Wärmequelle so, daß das Maximum der Wirkung auf die Thermosäule in T' eine Ablenkung von ungefähr 12° hervorbrachte. Nun wurde die Säule nach T gebracht; jetzt mußte die Ablenkung größer seyn, denn die vordere Fläche sendet nicht allein Wärmestrahlen in Folge der Erwärmung der Scheibe aus, sondern sie zerstreut auch einen Theil der von Q kommenden Wärmestrahlen. Diese Versuche gaben folgende Resultate:

	Wirkungen der	
	hinteren Fläche.	vorderen Fläche.
Metall von 400°.		
Ablenkungen	12,36°	14,58°
Entſprechende Kräfte . .	100	118
Glühendes Platin.		
Ablenkungen	12,26°	14,35°
Entſprechende Kräfte . .	100	117
Locatelli's Lampe.		
Ablenkungen	11,83°	14,08°
Entſprechende Kräfte . .	100	119

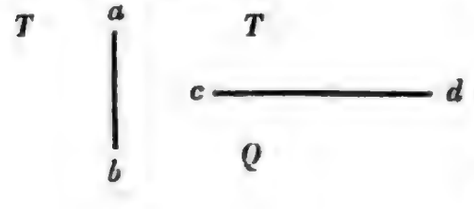
Die Wirkungen, welche die hintere und die vordere Fläche hervorbringen, ſtehen alſo ſtets in demſelben Verhältniſſe, in dem Verhältniſſe von 100 zu 118, welche Wärmequelle man auch anwenden mag. Auf der Vorderfläche findet alſo eine ſchwache Diffuſion Statt, aber das Verhältniß zwiſchen Diffuſion und Abſorption iſt ſtets daſſelbe, der Kienruß hat alſo in der That für Wärmeſtrahlen aus allen Quellen gleiches Abſorptionsvermögen.

Da der Kienruß alle Wärmeſtrahlen faſt ganz abſorbirt, ſo iſt er ſo zu ſagen ſchwarz für die Wärmeſtrahlen wie für die Lichtſtrahlen.

Nun drängt ſich die intereſſante Frage auf, ob es Körper giebt, welche alle Wärmeſtrahlen gleich gut zerſtreuen, alſo Körper, welche für die Wärmeſtrahlen das ſind, was ein weißer Körper für das Licht iſt. Solche wärme-weißen Körper ſind nun die Metalle, denn aus der Tabelle auf Seite 430 ſehen wir, daß ſie die Wärmeſtrahlen aller Arten in gleichem Maße abſorbiren, folglich müſſen ſie auch alle Wärmeſtrahlen in gleichem Verhältniſſe zerſtreuen.

Aus der auf Seite 430 angeführten Tabelle erſieht man, daß das Bleiweiß nicht alle Wärmearten gleich gut abſorbirt, und daraus folgt denn, daß auch ſein Diffuſionsvermögen für die Wärmeſtrahlen verſchiedener Wärmequellen ſehr ungleich ſeyn müſſe. Melloni hat dies auch durch den Verſuch direct bewieſen. Die Wärmequelle *Q*, Fig. 366, und die thermoelektriſche Säule

Fig. 366.



T waren gerade ebenso aufgestellt, wie bei dem Versuche, durch welchen die Gleichheit des Absorptionsvermögens des Kienrusses für alle Wärmestrahlen bewiesen wurde, die dünne Metallscheibe *a b* war aber nur auf der Rückseite geschwärzt, auf der Vorderseite hingegen mit Bleiweiß angestrichen; wenn sich nun die thermoelektrische Säule in *T'* befand, so wurde sie nur durch die von der Scheibe in Folge ihrer Erwärmung ausgestrahlte Wärme afficirt; befand sich aber die Säule in *T*, so wirkten außerdem auch noch die an der Vorderfläche zerstreuten Strahlen auf dieselbe. Die Resultate dieser Versuche waren folgende:

	Wirkungen der	
	hinteren schwarzen Fläche.	vorderen weißen Fläche.
Metall von 400°.		
Ablenkungen	11,51°	15,96°
Kräfte	93	129
Glühendes Platin.		
Ablenkungen	10,32°	18,68°
Kräfte	84	152
Locatelli's Lampe.		
Ablenkungen	8,13°	21,05°
Kräfte	69	181

Es sind also

die Ausstrahlungen der Hinterfläche . . .	93	84	69
Entsprechende Ausstrahlungen der Vorderfläche	129	152	181
Verhältniß beider	$^{10}/_{14}$	$^{10}/_{18}$	$^{10}/_{20}$

Die weiße Fläche hat also nicht gleiches Absorptions- und Diffusionsvermögen für alle Wärmearten. Die Strahlen des auf 400° erhitzten Metalls werden von derselben fast eben so gut absorbirt als von der schwarzen; eine stärkere Diffusion und eine geringere Absorption erleiden die Strahlen des glühenden Platins, und dieses Verhältniß ändert sich noch mehr für die Locatelli'sche Lampe. Die weiße Fläche verhält sich demnach gegen die Wärmestrahlen wie eine farbige gegen das Licht; sie zerstreut nämlich Strahlen gewisser Wärmefarben, während sie andere Wärmestrahlen nicht zerstreut, sondern absorbirt.

Polarisation der Wärmestrahlen. Melloni hat die Polarisation 171

der ſtrahlenden Wärme durch folgenden Verſuch nachgewieſen. An jedem Ende einer metallenen Röhre war ein Ring drehbar, welcher eine Säule von 8 bis 10 ganz dünnen Glimmerblättchen trägt, die ſo auf einander gelegt ſind, daß die Ebene der optiſchen Axen für alle dieſe Blättchen dieſelbe Lage hat; vor dieſer Röhre befand ſich eine Steinſalzlinſe, in deren Brennpunkte die Wärmequelle aufgeſtellt war, ſo daß ein Bündel paralleler Wärmeſtrahlen auf die erſte Glimmerſäule fiel; auf der andern Seite der Röhre war die thermoelektriſche Säule aufgeſtellt. Je nachdem die Ringe mit den Glimmerſäulen um die Axe der Röhre gedreht wurden, konnte man die Glimmerſäulen nach Belieben ſo ſtellen, daß ihre Polariſationsebenen parallel waren, oder daß ſie ſich rechtwinklig kreuzten. Außerdem war aber auch noch die Einrichtung getroffen, daß man die Neigung der Glimmerſäule gegen die Axe der Röhre ändern konnte.

Die Wärmemenge, welche durch die beiden Glimmerſäulen hindurchgeht, iſt nun ſehr ungleich, je nachdem die Polariſationsebenen der beiden Glimmerſäulen parallel oder gekreuzt ſind, wie man dies aus folgender Tabelle erſieht, welche die Reſultate einer der zahlreichen von Melloni über die Polariſation der ſtrahlenden Wärme angeſtellten Verſuchsreihen enthält. Jede der beiden Glimmerſäulen war bei dieſer Verſuchsreihe aus 10 Glimmerblättchen zuſammengeſetzt.

Neigung der Säulen gegen die Richtung der durchgehenden Strahlen.	Ablenkende Kraft der durchgelaſſenen Wärmeſtrahlen für	
	parallele Säulen.	gekreuzte Säulen.
45°	26,5	14,9
43	28,5	14,3
41	30,2	13,3
39	31,9	16,2
37	32,5	10,8
35	32,9	9,3
33	32,8	7,8
31	30,8	6,1
29	28,0	4,6
27	24,3	3,3
25	19,9	2,1
23	15	1,4

Wenn die Säulen gekreuzt ſind, laſſen ſie alſo in der That weniger Wärmeſtrahlen durch, als wenn ſie parallel ſind, und zwar wächſt der Unterſchied um ſo mehr, je mehr ſich die Ebene der Glimmerblättchen der Richtung der durch-

gehenden Wärmeſtrahlen nähert; die Glimmerſäulen polariſiren alſo die Wärmeſtrahlen durch Brechung um ſo vollſtändiger, je ſchräger ſie hindurchgehen.

Forbes, welcher in der That die erſten Verſuche über die Polariſation der ſtrahlenden Wärme angeſtellt hatte, glaubte aus ſeinen Beobachtungen den Schluß ziehen zu müſſen, daß die Wärmeſtrahlen verſchiedener Wärmequellen ungleich polariſirbar ſeyen, was nach Melloni's Verſuchen durchaus nicht der Fall iſt.

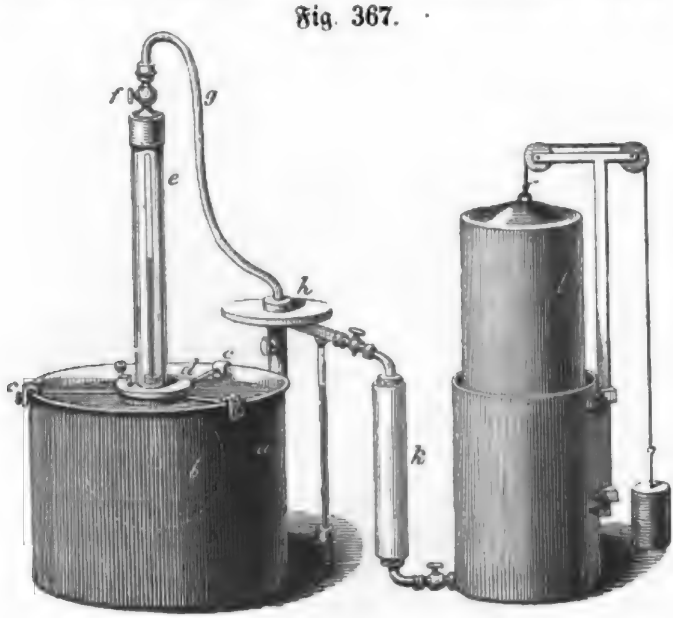
Auch durch Turmalinplatten laſſen ſich die Wärmeſtrahlen polariſiren, und ein zwiſchen die beiden Glimmerſäulen gebrachtes Glimmerblättchen zeigt die Erſcheinungen der Depolariſation der Wärmeſtrahlen ganz in der Art, wie eine doppeltbrechende Kryſtallplatte, zwiſchen die gekreuzten Spiegel des Polariſationsapparates gebracht, das Geſichtsfeld wieder hell machen kann; daraus geht denn hervor, daß die ſtrahlende Wärme auch der doppelten Brechung fähig iſt. Ohne über die Grenzen eines Lehrbuchs hinauszugehen, dürfen wir jedoch dieſen intereſſanten Gegenſtand nicht weiter verfolgen.

Interferenzerſcheinungen der ſtrahlenden Wärme hat man bis jetzt noch nicht nachweiſen können.

Geſetze des Erkaltens. Seit Newton, welcher zuerſt einige Grund- 172
ſätze über das Erkalten der Körper aufgeſtellt hatte, ſind von vielen Gelehrten experimentale und mathematiſche Unterſuchungen angeſtellt worden, doch blieb die Frage von unüberwindlichen Schwierigkeiten umgeben, bis Dulong und Petit ſie vollſtändig löſ'ten. Ihre Arbeit wurde im Jahre 1818 von der Akademie der Wiſſenſchaften zu Paris gekrönt.

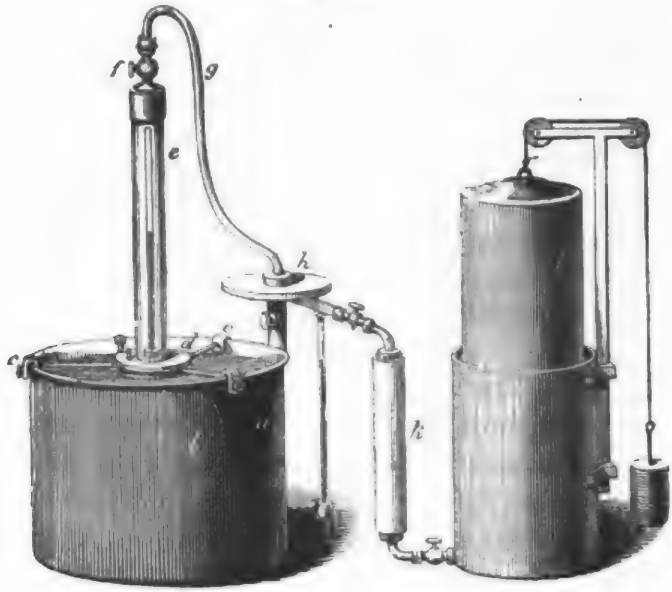
Der Apparat, den ſie zu ihren Verſuchen anwandten, iſt Fig. 367 abge-

Fig. 367.



bildet; das kupferne Gefäß *a* iſt mit Waſſer angefüllt, welches durch fortwährende Bewegung und Erneuerung auf conſtanter Temperatur erhalten

Fig. 368.



wird; *b* iſt ein Ballon von Kupfer, welcher 30^{cm} Durchmeſſer hat und innen geſchwärzt iſt; er iſt in das Waſſerbad eingeſenkt und durch die Träger *c* gehalten. Auf den breiten, wohl abgeſchliffenen Rand des Ballons wird eine vollkommen ebene Platte *d* von dickem Glaſe aufgeſetzt, auf welche dann eine weite Glasröhre ganz ſo aufgeſetzt wird, wie eine Glasglocke auf den Teller der Luftpumpe. Dieſe Röhre iſt oben mit einem Hahn *f* verſehen und durch die Bleiröhre *g* mit einer Luftpumpe in Verbindung geſetzt, von welcher in unſerer Figur nur der Teller *h* gezeichnet iſt. Das Rohr *k* iſt mit Chlorcalcium gefüllt, welches dazu dient, das aus dem Gaſometer *l* kommende Gas zu trocknen, wenn man Verſuche über das Erkalten in verſchiedenen Gaſen anſtellen will. Die Körper, welche man in dieſem Apparate erkalten läßt, ſind große Thermometer mit kugelförmigem Gefäße von 3 bis 6 Centimeter Durchmeſſer. Dieſe Thermometer ſind mittelſt eines Korkſtopfens in der Glasplatte *d* befeſtigt und können mit dieſer abgehoben und bis auf 100, 200 oder 300° erwärmt werden.

Wenn das Thermometer bis auf die gehörige Temperatur erwärmt iſt, wird es raſch in den Ballon gebracht, die Röhre *e* aufgeſetzt und die Luft raſch ausgepumpt. Das Thermometer ſinkt nun fortwährend, und man beobachtet in mehr oder weniger nahe auf einander folgenden Momenten die Temperaturabnahme, indem man zugleich die einer jeden Temperaturabnahme entſprechende Zeit mit Hülfe einer guten Uhr beſtimmt.

Auf dieſe Weiſe haben Dulong und Petit viele Verſuche ausgeführt. Die folgende Tabelle enthält die Reſultate einer ſolchen Verſuchsreihe, bei welcher ſtets daſſelbe Thermometer angewandt wurde, während die Temperatur des Waſſerbades und der Hülle *b* abgeändert wurde.

Temperaturüberſchuß des Thermometers.	Geſchwindigkeit des Erkaltens				
	Hülle von 0°.	Hülle von 20°.	Hülle von 40°.	Hülle von 60°.	Hülle von 80°.
240°	10,69°	12,40°	14,35°	»	»
220	8,81	10,41	11,98	»	»
200	7,40	8,58	10,01	11,64°	13,45°
180	6,10	7,04	8,20	9,55	11,05
160	4,89	5,67	6,61	7,68	8,95
140	3,88	4,57	5,32	6,14	7,19
120	3,02	3,56	4,15	4,84	5,64
100	2,30	2,74	3,16	3,68	4,29
80	1,74	1,99	2,30	2,73	3,19
60	»	1,40	1,62	1,88	2,17

Unter Geſchwindigkeit des Erkaltens iſt immer die Temperaturerniedrigung zu verſtehen, welche das Thermometer während einer Minute erleidet. Wenn z. B. die Hülle eine Temperatur von 0°, das Thermometer aber eine um 240° höhere Temperatur hat, ſo ſinkt es in einer Minute um 10,69°; wenn aber das Thermometer auf 100° erkaltet iſt, ſo nimmt ſeine Temperatur in einer Minute nur noch um 2,3° ab.

Newton hatte geglaubt, daß der Wärmeverluſt eines Körpers in jedem Augenblicke ſeinem Temperaturüberſchuſſe proportional ſey; die oben angeführte Verſuchsreihe zeigt aber, daß dies nicht der Fall iſt.

Wenn das Thermometer bei einem Temperaturüberſchuſſe von 80° in einer Minute um 1,74° erkaltet, ſo müßte es nach dem Newton'ſchen Geſetze bei einem Temperaturüberſchuſſe von 160° in einer Minute um 3,48° und bei 240° in einer Minute um 5,22° erkalten, während nach den Dulong'ſchen Verſuchen bei einem Temperaturüberſchuſſe von 160 und 240° die Erkaltung weit raſcher vor ſich geht.

Das Newton'ſche Geſetz iſt nur annähernd richtig, ſo lange der Temperaturüberſchuß nur 40 bis 50° beträgt; die Erkaltungsgeſchwindigkeit wächſt in einem weit raſcheren Verhältniſſe als der entſprechende Temperaturüberſchuß.

Man sieht auch aus obiger Tabelle, daß bei gleichem Temperaturüberschusse die Geschwindigkeit des Erkaltens noch von der Temperatur der Hülle abhängig ist. Wenn z. B. die Hülle 80° warm ist, so ist bei gleichem Temperaturüberschusse die Geschwindigkeit des Erkaltens fast doppelt so groß als bei einer Hülle von 0°.

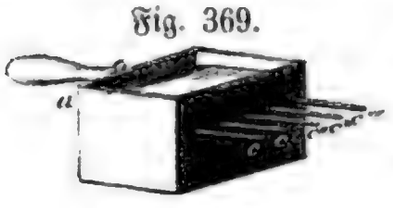
Versuche, welche mit Thermometern angestellt wurden, deren Kugeln verschiedene Durchmesser hatten, ergaben das Resultat, daß sich die Erkaltungsgeschwindigkeit umgekehrt wie der Durchmesser verhält; daß die Erkaltungsgeschwindigkeit von der Natur der Oberfläche abhängt, versteht sich von selbst.

Wenn der erkaltende Körper ringsum von Luft oder irgend einem andern Gas umgeben ist, so verliert er seine Wärme aus zwei Ursachen, nämlich durch Strahlung nach denselben Gesetzen wie im leeren Raume und durch die Berührung mit dem Gas, welches sich durch das Aufwärtsströmen der erwärmten Theilchen stets erneuert.

173 **Verbreitung der Wärme durch Leitung.** Nicht allein durch Strahlung, sondern auch bei unmittelbarer Berührung kann die Wärme von einem Körper zum andern übergehen und sich alsdann durch seine ganze Masse hindurch verbreiten; doch findet in Beziehung auf die Leichtigkeit, mit welcher die Wärme in einen Körper übergeht und sich durch seine Masse verbreitet, eine große Ungleichheit zwischen verschiedenen Körpern Statt; in manchen verbreitet sich die Wärme außerordentlich leicht, während in anderen die Wärme weniger leicht von einem Theilchen zum andern übergeht. Ein Schwefelhölzchen, welches an einem Ende brennt, kann man am andern Ende noch zwischen den Fingern halten, ohne nur eine Temperaturerhöhung des Holzes zu fühlen; die hohe Temperatur des brennenden Endes theilt sich also nicht so leicht der übrigen Masse des Holzes mit, das Holz ist ein *schlechter Wärmeleiter*; einen gleichlangen Metalldraht aber, den man an dem einen Ende glühend gemacht hat, kann man am andern Ende nicht anfassen, ohne sich zu verbrennen, die Wärme verbreitet sich also leicht von dem glühenden Ende aus durch das ganze Stäbchen, das Metall ist also ein *guter Wärmeleiter*.

Um zu zeigen, wie ungleich die Fähigkeit verschiedener Körper ist, die Wärme fortzuleiten, kann man den Fig. 369 dargestellten von *Ingenhouß* angegebenen Apparat anwenden. In die eine Seitenwand eines Kastens von Blech sind mehrere, aus den zu vergleichenden Substanzen verfertigte Stäbchen eingesteckt, welche sämmtlich gleichen Durchmesser haben müssen und sämmtlich mit einer Schicht von Wachs überzogen sind; wenn man nun kochendes Wasser oder heißes

Fig. 369.



Oel in den Kasten gießt, so wird die Wärme auch mehr oder weniger weit in die Stäbchen vordringen und den Wachsüberzug schmelzen. Nehmen wir an, das eine Stäbchen sey von Kupfer, eines von Eisen, ein drittes von Blei, das vierte von Glas, das letzte von Holz, so wird die Wachsschicht des Kupferstäbchens schon vollständig bis an's Ende geschmolzen seyn, während bei allen anderen Stäbchen die Schmelzung des Wachses noch nicht so weit vorgeschritten ist; das Kupfer ist also unter diesen fünf Körpern der beste Wärmeleiter. Für das Eisenstäbchen schreitet die Schmelzung des Wachses rascher voran als für das Bleistäbchen, und während das Wachs auf dem Kupferstabe ganz weggeschmolzen ist, ist die Wachsschicht auf dem Glasstabe nur auf eine sehr unbedeutende Strecke geschmolzen, an dem Holzstäbchen ist aber kaum ein Anfang des Schmelzens wahrzunehmen, das Holz ist also in der That unter diesen Körpern der schlechteste Wärmeleiter.

Unter allen Körpern sind die Metalle die besten, Asche, Seide, Haare, Stroh, Wolle u. s. w., überhaupt die lockeren Körper, die schlechtesten Wärmeleiter.

Im praktischen Leben machen wir von der guten oder schlechten Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Körper zahlreiche Anwendungen. Gegenstände, die man vor der Erkaltung schützen will, umgiebt man mit schlechten Wärmeleitern; man umwickelt Bäume und Sträuche des Winters mit Stroh, um sie vor dem Erfrieren zu schützen; unsere Kleider halten warm, weil sie aus schlechten Wärmeleitern verfertigt sind. In einem kupfernen Gefäße bringt man unter sonst gleichen Umständen eine Flüssigkeit weit eher in's Kochen als in einem Porzellangefäße von derselben Wanddicke.

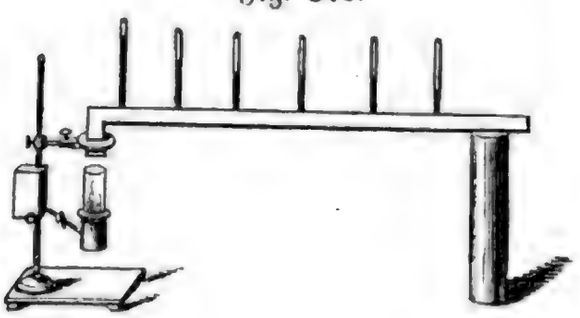
Wenn das eine Ende eines Metallstabes mit einer constanten Wärmequelle in Berührung gebracht wird, so erwärmt sich der ganze Stab allmälig mehr und mehr, doch wird seine Temperatur am andern Ende nie so hoch steigen können, als an der unmittelbar erwärmten Stelle. Wenn der Stab über eine gewisse Zeit hinaus mit der Wärmequelle in Berührung bleibt, so steigt seine Temperatur an keiner Stelle weiter, sondern es tritt ein Gleichgewichtszustand ein, bei welchem die Temperatur des Stabes mit der Entfernung von der Quelle immer geringer wird.

Denken wir uns den Stab seiner ganzen Länge nach durch Querschnitte in ganz dünne Scheibchen zerlegt, so wird ein Gleichgewicht der Erwärmung stattfinden, wenn jedes Scheibchen in jedem Augenblicke eben so viel Wärme von der Wärmequelle her aufnimmt, als es wieder abgiebt. Nun aber giebt jedes Scheibchen nicht nur Wärme an das nächstfolgende ab, sondern es verliert auch seitwärts Wärme an die Umgebung, jede folgende Schicht des Metallstabs empfängt also offenbar weniger Wärme als

die vorhergehende, und ſomit iſt klar, daß die Erwärmung des Stabes an verſchiedenen Stellen um ſo geringer ſeyn wird, je weiter ſie von der Wärmequelle entfernt ſind.

Dieſe Abnahme der Temperatur mit der Entfernung von der Wärmequelle überſieht man ſehr gut in folgendem von Despretz angeſtellten Verſuche, Fig. 370. In einer vierſeitigen Metallſtange, an welcher jede Seite des Querſchnitts 21 Millimeter betrug, waren von Decimeter zu Decimeter Löcher von 6mm Durchmeſſer und 14mm Tiefe angebracht. Dieſe Löcher waren mit Queckſilber ausgefüllt, und in dieſes waren die zur Beobachtung der Temperatur dienenden Thermometer eingeſenkt. Das eine Ende des horizontal liegenden Metallſtabes wurde durch eine Weingeiſtlampe erwärmt. Es dauerte in der Regel zwei bis drei Stunden, bis die Temperatur des Stabes ihren Gleichgewichtszuſtand erreicht hatte. Ein Stab von Kupfer gab folgende Reſultate:

Fig. 370.



Entfernung der Thermometer von der Wärmequelle.	Erhöhung der Temperatur der Thermometer über die Temperatur der umgebenden Luft.
100mm	66,4°
200	46,3
300	32,6
400	24,5
500	18,6
600	16,2.

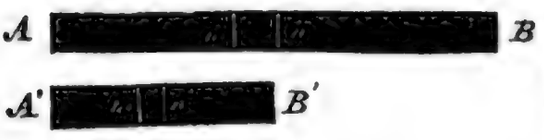
Man ſieht hieraus, daß der Temperaturüberſchuß jedes folgenden Thermometers 1,4 mal geringer iſt als für das vorhergehende; wenn alſo die Entfernungen von der Wärmequelle in arithmetiſcher Reihe wachſen, ſo nehmen die entſprechenden Temperaturerhöhungen in geometriſcher Reihe ab. Dieſe Regelmäßigkeit der Temperaturabnahme findet jedoch bei ſchlechteren Wärmeleitern nicht mehr Statt.

Nehmen wir an, es gäbe ein anderes Metall, welches die Wärme in einem ſolchen Verhältniſſe ſchlechter leitet als das Kupfer, daß, wenn man mit einem Stabe von denſelben Dimenſionen denſelben Verſuch anſtellt, alle Thermometer einen nur halb ſo großen Temperaturüberſchuß zeigten, ſo würde offenbar der Temperaturüberſchuß eines jeden Quer-

ſchnittes des ſchlechter leitenden Stabes gerade eben ſo groß ſeyn als der Temperaturüberſchuß eines doppelt ſo weit von der Wärmequelle entfernten Querſchnittes im Kupferſtabe; und wenn man aus dem ſchlechter leitenden Metalle einen Stab machte, welcher bei ſonſt gleichen Dimenſionen nur halb ſo lang iſt als der Kupferſtab, ſo würden die Enden beider Stäbe gleiche Temperatur zeigen.

In Fig. 371 möge $A\,B$ den Kupferſtab, $A'\,B'$ den ſchlechter leitenden Metallſtab von halber Länge darſtellen; wenn die Enden A und A' mit einer und derſelben Wärmequelle in Berührung ſind, ſo werden nach unſerer Vorausſetzung die Enden B und B' auch gleiche Temperatur haben, wenn die Temperatur an allen Stellen der beiden Stäbe ſtationär geworden iſt. Nehmen wir an, der Querſchnitt n' liege halb ſo weit von B' als n von B, ſo werden auch die Temperaturen der Querſchnitte n und n' gleich ſeyn; weil aber $n\,B$ noch einmal ſo groß iſt als $n'\,B'$, ſo wird das Ende $n\,B$ des Kupferſtabes in gleicher Zeit doppelt ſo viel Wärme an die Umgebung ausſtrahlen als das Endſtück $n'\,B'$ des andern Stabes; in gleichen Zeiten muß alſo dem Ende $n\,B$ des Kupferſtabes doppelt ſo viel Wärme zugeführt werden als dem Ende $n'\,B'$ des andern Stabes. Wenn ferner die Länge $m\,n$ doppelt ſo groß iſt als $m'\,n'$, ſo werden auch die Schichten m im einen und m' im andern Stabe gleiche Temperatur haben; und wenn in gleichen Zeiten durch das Stück $m\,n$ des Kupferſtabes dieſelbe Wärmemenge hindurchginge wie durch das Stück $m'\,n'$ des andern Stabes, ſo würde das Wärmeleitungsvermögen des Kupfers offenbar doppelt ſo groß ſeyn als das des andern Metalls. Nun geht aber durch das Stück $m\,n$ des Kupferſtabes in derſelben Zeit doppelt ſo viel Wärme hindurch als durch das Stück $m'\,n'$ des andern Stabes, weil ja das Ende $n\,B$ des Kupferſtabes in gleichen Zeiten doppelt ſo viel Wärme ausſtrahlt als das Ende $n'\,B'$; folglich würde für unſern Fall die Wärmeleitungsfähigkeit des Kupfers 4mal ſo groß ſeyn als die des andern Metalles.

Fig. 371.



Wenn wir dieſe Betrachtungsweiſe allgemeiner machen, ſo kommen wir zu dem Schluſſe, daß für Stäbe verſchiedener Metalle von gleichen Dimenſionen die Wärmeleitungsfähigkeit ſich verhält wie das Quadrat der Entfernungen von der Wärmequelle, in welchen man unter ſonſt gleichen Umſtänden gleiche Temperaturüberſchüſſe beobachtet.

Auf dieſe Weiſe hat Despretz folgende Verhältnißzahlen für das Wärmeleitungsvermögen der Metalle gefunden:

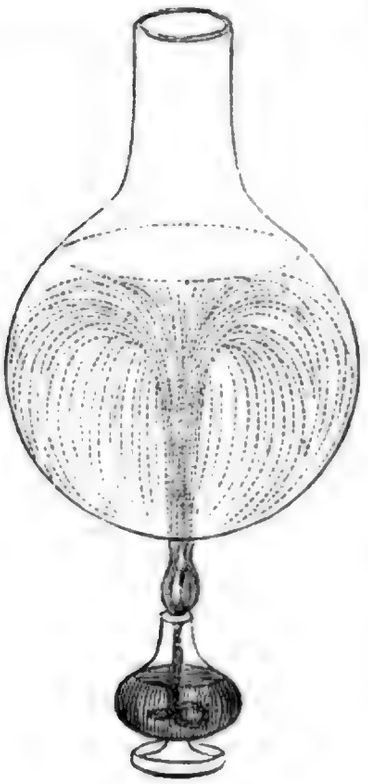
Gold	1000	Eisen	374
Platin . . .	981	Zink	363
Silber . . .	973	Zinn	303
Kupfer . . .	898	Blei	180.

Man nimmt gewöhnlich für die Leitungsfähigkeit des Marmors den Werth 23, für Porzellan den Werth 12 u. s. w., doch ist die Richtigkeit dieser Werthe sehr zweifelhaft, denn die oben angeführte Bestimmungsmethode läßt sich hier nicht mehr mit Zuversicht anwenden, weil bei diesen sehr schlechten Wärmeleitern der Temperaturüberschuß nicht nach dem Gesetze abnimmt, wie dies bei guten Wärmeleitern der Fall ist.

Wenn die eben angedeutete Bestimmungsmethode anwendbar seyn soll, so muß das Ausstrahlungsvermögen der Oberflächen stets dasselbe seyn; man überzieht deshalb die zum Versuche bestimmten Metallstäbe mit Kienruß.

174 **Wärmeleitungsfähigkeit der Flüssigkeiten und Gase.** In den Flüssigkeiten verbreitet sich die Wärme meistens durch Strömungen, welche dadurch entstehen, daß die erwärmten Theilchen wegen ihrer geringeren Dichtigkeit immer in die Höhe steigen. Man kann diese Strömungen leicht sichthar machen, wenn man Sägespähne in Wasser wirft, welches sich in einem Glasgefäße befindet, und dann von unten her langsam erwärmt, Fig. 372. Man sieht, wie die Strömung in der Mitte aufwärts, an der Seite abwärts gerichtet ist.

Fig. 372.



Wenn man eine Flüssigkeit von oben her erwärmt, so daß das hydrostatische Gleichgewicht nicht gestört wird, so kann sich die Wärme nur in derselben Weise durch die Masse der Flüssigkeit verbreiten, wie dies bei festen Körpern der Fall ist, nämlich durch Leitung, indem die Wärme von einer Schicht zur andern übergeht. In solchen Fällen verbreitet sich die Wärme aber nur sehr langsam durch die Masse der Flüssigkeit, die Flüssigkeiten sind also sehr schlechte Wärmeleiter.

Um sich von der schlechten Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten zu überzeugen, braucht man nur die Kugel eines Thermometers in kaltes Wasser zu tauchen und dann heißes Oel auf das Wasser zu gießen; man wird selbst in den obersten Wasserschichten kaum eine Temperaturerhöhung wahrnehmen können.

Despretz hat die Leitungsfähigkeit des Wassers bestimmt, indem er

Wassersäulen von 1 Meter Höhe und 0,2 bis 0,4 Meter Durchmesser von oben her durch beständige Erneuerung von heißem Wasser erwärmte. Es dauerte ungefähr 30 Stunden, bis die Temperatur der Wassersäule an allen Stellen stabil wurde. Aus diesen Versuchen folgt, daß die Wärmeleitungsfähigkeit des Wassers ungefähr 95mal geringer ist als die des Kupfers; in der obigen Tabelle müßte also die Leitungsfähigkeit des Wassers durch 9 bis 10 ausgedrückt werden.

Die Luft und die Gase überhaupt sind ebenfalls sehr schlechte Wärmeleiter, doch läßt sich ihr Wärmeleitungsvermögen durch Thermometer, die man etwa in verschiedenen Schichten der zu untersuchenden Luftmasse anbringen wollte, wegen der Wärmestrahlung nicht ermitteln. Daß jedoch die Gase überhaupt, und die Luft insbesondere schlechte Wärmeleiter sind, geht daraus hervor, daß Körper, welche von allen Seiten von Luftschichten umgeben sind, nur sehr langsam erwärmt und erkaltet werden können, wenn nur der Wechsel der Luftschichten verhindert wird. Dadurch erklärt sich die Wirksamkeit der doppelten Fenster und der doppelten Thüren, um ein Zimmer warm zu halten. Das schlechte Leitungsvermögen lockerer Körper, wie Stroh, Wolle u. s. w., rührt größtentheils daher, daß die zahllosen Zwischenräume mit Luft ausgefüllt sind. Solche Körper, von denen wir sagen, daß sie warm halten, wie z. B. unsere Kleider, Stroh, sind nicht selbst warm, ihre Wirkung beruht nur auf ihrer schlechten Wärmeleitungsfähigkeit; wenn man Eis in solche Körper einhüllt, so verhindern sie das Schmelzen desselben, weil sie die äußere Wärme abhalten.

Siebentes Kapitel.

Verschiedene Quellen der Wärme.

Wärmeerzeugung durch chemische Verbindungen. Nach der 175
Sonne sind für uns die chemischen Verbindungen, besonders aber die Verbrennung die wichtigsten Wärmequellen. Fast jeder chemische Proceß ist von einer Wärmeentwickelung begleitet; Heß hat versucht, die Gesetze dieser Wärmeentwickelung zu ermitteln.

Bekanntlich wird Wärme frei, wenn man Schwefelsäurehydrat (englische Schwefelsäure $\dot{H}\ddot{S}$) mit Wasser mischt. Wenn man das Schwefelsäurehydrat mit 1 Aeq. Wasser mischt, dann ein zweites Aequivalent Wasser zusetzt u. s. w., bis keine merkliche Wärmeentwicklung mehr stattfindet, so ist die Summe der nach und nach frei werdenden Wärmemengen gerade eben so groß wie die Wärmemenge, welche frei wird, wenn

man dieſelbe Waſſermaſſe nicht nach und nach, ſondern auf einmal zuſetzt. Daraus ſchließt Heß, »daß, wenn eine Verbindung ſtattfindet, die entwickelte Wärmemenge conſtant ſey, mag nun die Verbindung direct oder indirect und zu wiederholten Malen geſchehen.« Dieſer Satz wurde auch noch durch andere Verſuche beſtätigt.

Heß ſowohl als auch Graham und Andrews haben noch viele Verſuche angeſtellt über die Wärmeentwickelung bei chemiſchen Verbindungen, welche auf naſſem Wege vor ſich gehen. Graham hat vorzugsweiſe die bei der Hydratbildung aus waſſerfreien Salzen, Andrews aber die bei der Salzlöſung frei werdende Wärme unterſucht. Letzterer iſt zu folgenden Reſultaten gelangt:

1) Ein Aequivalent verſchiedener Säuren erzeugt bei ſeiner Verbindung mit derſelben Baſis faſt ganz gleiche Wärmemengen.

2) Ein Aequivalent verſchiedener Baſen bringt bei ſeiner Verbindung mit derſelben Säure nicht immer dieſelbe Wärme hervor.

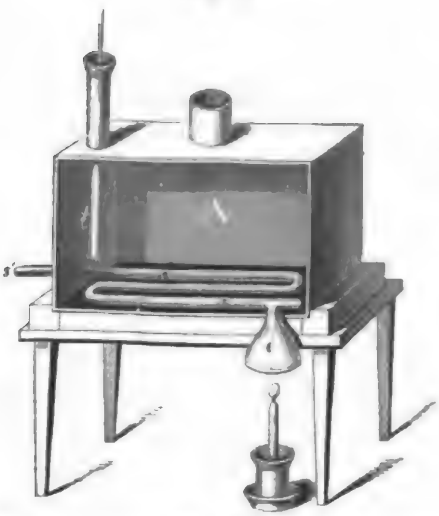
3) Wenn neutrale Salze ſich mit Säuren zu ſauren Salzen verbinden, ſo findet keine Temperaturveränderung Statt.

4) Wenn neutrale Salze durch Aufnahme von einer neuen Quantität Baſis ſich in baſiſche Salze verwandeln, ſo findet eine Wärmeentwickelung Statt.

Sobald die chemiſche Verbindung mit einer Auflöſung eines Körpers begleitet iſt, wird es ſchwer halten, aus dem Verſuche beſtimmte Reſultate abzuleiten, weil man nicht leicht ermitteln kann, welchen Einfluß die Veränderung des Aggregatzuſtandes hat.

Von ganz beſonderer Wichtigkeit iſt die Entwickelung der Wärme, welche durch Verbrennung, alſo durch eine raſche Verbindung der Körper mit Sauerſtoff entwickelt wird.

Fig. 373.



Um die durch Verbrennung entwickelte Wärme zu beſtimmen, bedient ſich Rumford eines Calorimeters, Fig. 373, welches zur Beſtimmung der latenten Wärme der Dämpfe dient. Im Rumford'ſchen Calorimeter iſt das Schlangenrohr horizontal, damit die Producte der Verbrennung nicht zu ſchnell entweichen. Der Eingang in das Schlangenrohr iſt durch einen Trichter gebildet, unter welchen die zu verbrennenden Körper gebracht werden. Mit Oel und Alkohol iſt der

Versuch leicht anzustellen, man füllt sie nämlich in eine kleine Lampe, die man zu Anfange und zu Ende des Versuches wägt, um die Menge des verbrannten Materials zu erfahren. Die Flamme und die Producte der Verbrennung ziehen durch das Schlangenrohr hindurch und erwärmen das Wasser des Apparates. Aus der Temperaturerhöhung, welche das Wasser mit dem ganzen Apparate erfährt, läßt sich dann die Wärmemenge, welche durch die Verbrennung erzeugt wurde, berechnen; doch darf man dabei die Wärme nicht unberücksichtigt lassen, mit welcher die gasförmigen Producte der Verbrennung aus dem Schlangenrohre austreten.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate, welche Rumford nach dieser Methode erhalten hat, nebst anderen, welche Lavoisier und Laplace mit ihrem Calorimeter und Despretz durch ein dem Rumford'schen ähnliches Verfahren erhielt.

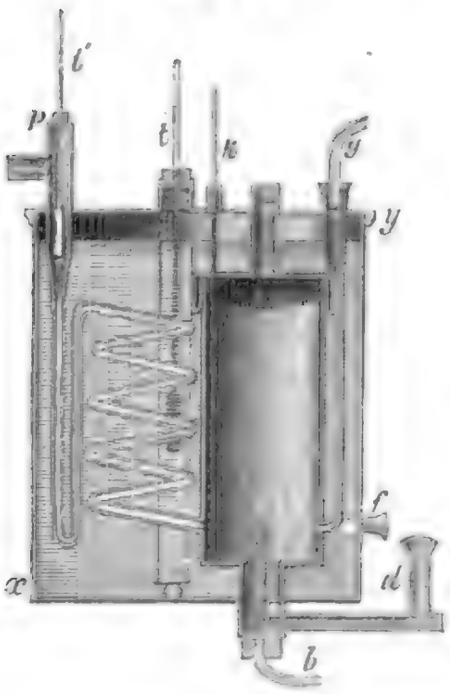
Namen der verbrannten Körper.	Temperaturerhöhung, welche die Verbrennung von 1 Gramm der Substanz in 1 Kilogramm Wasser hervorbringt.
Wasserstoffgas	23,4° L. L. und D.
Olivenöl	11,17 L. L.
»	9,04 R.
Weißes Wachs	10,50 L. L.
»	9,48 R.
Rüböl	9,31 R.
Talg	8,37 R.
»	7,19 L. L.
Schwefeläther	8,03 R.
Phosphor	7,50 L. L.
Kohle	7,23 L. L. und D.
Alkohol 42° Baumé	6,19 R.
Holz, sehr trocken	4,31 R.

Dulong hatte eine große Arbeit über die durch Verbrennung entwickelte Wärme unternommen, wurde aber leider zu früh der Wissenschaft entrissen, noch ehe er sie beendigt hatte. Glücklicherweise konnte man noch die wichtigsten Resultate sammeln, zu denen er gelangt war.

Der Apparat, dessen er sich zu diesen Untersuchungen bediente, hatte im Wesentlichen folgende Einrichtung. Der Verbrennungsraum *a*, Fig. 374, ist eine von dünnem Kupferblech gebildete 25 Centimeter hohe rechteckige Kammer, welche 10 Centimeter lang und 7,5 Centimeter breit und ringsum von Wasser umgeben war, welches sich in einem 11 Litre fassenden Gefäße befand.

Durch den Boden des Verbrennungsraumes ragte in denſelben eine mit feiner Spitze verſehene Röhre *b*, durch welche die zu verbrennenden Gaſe zuſtrömten.

Fig. 374.



Das zur Verbrennung nöthige Sauerſtoffgas ſtrömte entweder durch die Röhre *g* oder durch *d* zu.

Flüſſige Brennſtoffe waren in einer durch einen Stopfen verſchloſſenen Glasröhre enthalten; ein feiner Docht war in die Flüſſigkeit eingetaucht.

Wie die Gaſe und Flüſſigkeiten entzündet wurden, weiß man nicht.

Die feſten Brennſtoffe wurden auf verſchiedene Weiſe zur Verbrennung gebracht. Eiſen wurde zu einer Spirale aufgewickelt; andere Metalle wurden in pulverförmigem Zuſtande in eine Kapſel von Kupfer oder Platin gebracht; um das Zuſammenbacken zu verhindern, wurden ſie mit einem hier indifferenten Stoffe gemiſcht. Ihre Entzündung wurde durch ein Stück Zunder bewirkt.

Da die Kohle ſich nicht auf dieſe Weiſe entzündet, ſo wurde aus derſelben ein Kegel geſchnitten, deſſen Spitze an einer Weingeiſtlampe angezündet und dann raſch in den Verbrennungsraum gebracht.

Ein Fenſter *f*, welches durch eine Glasplatte verſchloſſen iſt, erlaubt zu ſehen, was während des Verſuches im Apparate vorgeht.

Die durch die Verbrennung gebildeten Gaſe entweichen durch ein Schlangenrohr, an deſſen Ende ſich eine Erweiterung zur Aufnahme eines Thermometers *t'* befindet. Die Gaſe entweichen, nachdem ſie ihre Wärme abgegeben haben, durch das Seitenrohr *p* in ein Gaſometer.

Zwei ſymmetriſch vertheilte Thermometer geben die Temperatur des Apparates an.

Das Waſſer wurde durch einen an der Stange *k* befeſtigten Rührer ſtets in Bewegung gehalten.

Dulong ſcheint bei ſeinen Verſuchen die Methode Rumford's befolgt zu haben.

Die folgende Tabelle giebt die Reſultate ſeiner Verſuche.

Namen der verbrannten Körper.	Temperaturerhöhung, welche in 1 Kilogr. Wasser hervorgebracht wird durch	
	die Verbrennung von 1 Gr. der Substanz.	durch 1 Gr. bei der Verbrennung verzehrten Sauerstoff.
Wasserstoff	34,60	4,32
Sumpfgas	13,35	3,34
Kohlenoxydgas	2,49	4,36
Oelbildendes Gas	12,20	3,56
Absoluter Alkohol	6,96	3,34
Kohle	7,29	2,73
Terpentinöl	11,57	3,51
Schwefeläther	10,04	3,88
Olivenöl	9,86	»
Schwefel	2,60	2,60
Eisen	»	4,33
Zinn	»	4,53
Zinnoxydul	»	4,51
Kupfer	»	2,59
Kupferoxydul	»	2,18
Antimon	»	3,82
Zink	»	5,27
Kobalt	»	3,98
Nickel	»	3,71

Thierische Wärme. Die Temperatur der Blutwärme aller Thiere ist 176
fast immer von der Temperatur des Mittels verschieden, in welchem sie leben. Die Thiere der Polarländer sind stets wärmer als das Eis, auf welchem sie leben, in den Aequatorialgegenden aber sind sie kälter als die glühende Luft, welche sie einathmen. Die Vögel haben nie die Temperatur der Luft, die Fische nie die Temperatur des Wassers, von welchem sie umgeben sind; der thierische Körper hat also seine eigenthümliche Wärme, er muß sie also auch fortwährend erzeugen können. Wir wollen nun der Reihe nach folgende Fragen näher untersuchen: 1) Welches ist die Temperatur des Thierkörpers? 2) Welches sind die Wärmequantitäten, welche er in einer gegebenen Zeit erzeugen kann? 3) Wodurch wird diese Wärme erzeugt?

Die innere Wärme des Menschen scheint für alle Organe dieselbe, und zwar derjenigen gleich zu seyn, auf welche ein kleines Thermometer steigt, wenn man die Kugel unter die Zunge bringt und den Mund schließt, bis es nicht mehr steigt; diese Temperatur ist 37°. Alter und Klima, Gesundheit oder Krankheit können diese Temperatur nur unbedeutend ändern. John Davy hat auf seiner Reise von England nach der Insel Ceylon

in dieſer Beziehung eine Reihe merkwürdiger Beobachtungen gemacht. Indem er unter verſchiedenen Breiten die Temperatur mehrerer Leute der Schiffsmannſchaft beſtimmte, fand er, daß ſie in der heißen Zone allerdings etwas ſtieg; dieſe Temperaturzunahme war aber unbedeutend, ſie betrug nicht ganz 1°. Davy beſtimmte auch die Temperatur der Eingeborenen von Ceylon, der Hottentotten, der Neger auf Madagascar und Mozambique, der Albinos, der Malaien, der Budhaprieſter, welche nur Gemüſe, und der Vaidas, welche nur Fleiſch eſſen. Alle dieſe Temperaturen waren nur wenig verſchieden, die niedrigſte von allen war die von zwei Hottentotten auf dem Cap der guten Hoffnung, ſie betrug 35,8°, die höchſte war die von zwei europäiſchen zu Colombo geborenen Kindern, von denen das eine 8, das andere 12 Jahre alt war, ſie betrug 38,9°.

Die folgende Tabelle enthält die Reſultate der von Davy an Thieren angeſtellten Beobachtungen.

Namen der Thiere	Ihre Temperatur	Temperatur der Umgebung	Beobachtungsort
	Säugethiere:		
Affe	+ 39,7° C.	30° C.	Colombo
Fledermaus	37,8	28	»
»	38,3	28	»
Vampir	37,8	21	»
Eichhörnchen	38,8	27	»
Gemeine Ratte	38,8	26,5	»
Gemeiner Haaſe	37,8	26,5	»
Ichneumon	39,4	27	»
Tiger	37,2	26,5	»
Hund	39,0	»	Candy
»	39,6	»	»
Schakal	38,3	29	Colombo
Gemeine Katze	38,3	15	London
»	38,9	26	Candy
Panther	38,9	27	Colombo
Pferd (arabiſche Race)	37,5	26	Candy
Hammel	39,3—40,0	Im Sommer	Schottland
»	39,5—40,0	19	Cap der guten Hoffnung
»	40,0—40,6	26	Colombo
Bock	39,5	26	»
Ziege	40,0	26	»
Ochſe	38,9	Im Sommer	Edinburg
»	38,9	26	Candy
Elephant	37,5	26,7	Colombo
Meerſchwein	37,8	23,7	Im Meere 8° 23′ N. B.

Namen der Thiere	Ihre Temperatur	Temperatur der Umgebung	Beobachtungsort
Vögel:			
Habicht	37,2	25,3	Colombo
Papagay	41,1	24	Candy
Krähe	42,1	31,5	Ceylon
Drossel	42,8	15,5	London
Sperling	42,1	26,6	Candy
Taube	42,1	15,5	London
»	43,3	25,5	»
Gemeines Huhn	42,5	4,5	Edinburg
»	43,3	25,5	Colombo
Hahn	43,9	25,5	»
Sturmvogel	40,3	26	Auf dem Meere 2° 3′ N. B.
Gans	41,7	25,5	Colombo
Kanarienvogel	43,9	25,5	»
Amphibien:			
Schildkröte	28,9	26	Im Meere 2° 27′ N. B.
Geometrische Schildkröte	16,9	16	Cap der guten Hoffnung
Schlange	32,2	28,3	Colombo
»	29,2	28,1	»
Fische:			
Haysisch	25	23,7	Im Meere 8° 23′ N. B.
Forelle	14,4	13,3	Edinburg
Fliegender Fisch	25,5	25,3	Im Meere 6° 57′ N. B.
Mollusken und Crustaceen:			
Auster	27,8	27,8	Colombo
Krebs	26,1	26,7	»
Krabbe	22,2	22,2	Candy
Insecten:			
Blatta orientalis	23,3	22,8	»
Wespe	24,4	23,9	»
Scorpion	25,3	26,1	»
Julus	25,8	26,6	»

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, daß die Blutwärme der Vögel größer ist als bei allen anderen Thieren; die Säugethiere nehmen den zweiten Rang ein. Bei diesen beiden Thierklassen ist die Blutwärme von der Temperatur der Umgebung unabhängig, bei den übrigen Thierklassen

aber, den Amphibien, Fiſchen u. ſ. w., iſt die Temperatur des Körpers nur wenig von der Temperatur der Umgebung verſchieden.

Welches iſt nun die Quelle der thieriſchen Wärme? Die Luft, welche wir einathmen, wird in derſelben Weiſe verändert wie die Luft, welche zur Verbrennung gedient hat; der Sauerſtoff der Luft wird in Kohlenſäure verwandelt, es findet alſo in der Lunge eine förmliche Verbrennung Statt. Seit Lavoiſier dieſe Entdeckung gemacht hatte, war die Quelle der thieriſchen Wärme kein Geheimniß mehr!

Durch die Speiſen wird dem Körper der Kohlenſtoff zugeführt, welcher ſich in der Lunge mit dem Sauerſtoffe der eingeathmeten Luft verbindet; durch die Oxydation des Kohlenſtoffs im Thierkörper muß aber nothwendig dieſelbe Wärmemenge erzeugt werden, als ob der Kohlenſtoff durch ſchnelle Verbrennung in Kohlenſäure verwandelt worden wäre.

In einer kalten Umgebung verliert der Menſch und das Thier ſtets mehr Wärme als in wärmerer; da aber die Blutwärme bei den Säugethieren und Vögeln von der Temperatur der Luft unabhängig iſt, ſo iſt klar, daß im Körper mehr Wärme erzeugt werden muß, wenn ihm in jedem Augenblicke eine größere Wärmemenge entzogen wird, wenn er alſo in kalter Luft lebt, als wenn er in wärmerer Umgebung nur wenig Wärme nach außen hin abgiebt. Um aber in gleichen Zeiten mehr Wärme erzeugen zu können, muß dem Körper mehr Kohlenſtoff zugeführt werden, durch deſſen Oxydation die Wärme erzeugt wird, wie man ja auch bei kaltem Wetter mehr Brennmaterial im Ofen verbrennen muß, um ein Zimmer auf einer beſtimmten conſtanten Temperatur zu erhalten, als bei gelinder Kälte. Dadurch erklärt ſich nun, warum der Nordländer mehr Speiſen und beſonders mehr kohlenſtoffhaltige Speiſen zu ſich nehmen muß als der Bewohner der heißen Zone.

Die Wärmemenge, welche ein Thier in einer gegebenen Zeit entwickelt, hat Dulong auf folgende Weiſe zu beſtimmen geſucht: Das Thier wurde in einen Kaſten von dünnem Kupferblech gebracht, welcher in eine große Maſſe Waſſer eingetaucht war. Die durch das Thier erzeugte Wärme wurde durch die Temperaturerhöhung des Waſſers beſtimmt, die zum Athmen nöthige Luft wurde durch ein Gaſometer geliefert, und die Producte der Reſpiration wurden geſammelt und analyſirt. Ein ſolcher Verſuch dauerte ungefähr zwei Stunden; es zeigte ſich, daß die ausgeathmete Luft feuchter war, daß ein Theil des Sauerſtoffs durch Kohlenſäure erſetzt und daß außerdem noch ein Theil Sauerſtoff verſchwunden war. Der Stickſtoffgehalt der Luft hatte keine Veränderung erlitten. Nimmt man nun an, daß der Sauerſtoff, welcher in Kohlenſäure verwandelt worden iſt, ſich wirklich beim Reſpirationsproceſſe mit Kohlenſtoff verbunden hat; nimmt man ferner an, daß der verſchwundene Sauerſtoff ſich mit Waſſer-

stoff zu Wasser verbunden hat, so kann man leicht die Wärmemenge berechnen, welche auf diesem Wege entwickelt wird; dieser Rechnung zufolge wird aber durch die Respiration nur 8 bis 9 Zehntel der Wärme erzeugt, welche das Thier an das Wasser abgegeben hat; es scheint demnach die Respiration nicht die einzige Quelle der thierischen Wärme zu seyn.

Liebig hat aber gezeigt, daß der angeführte Versuch zu diesem Schlusse nicht berechtigt; bei der großen Differenz zwischen der Temperatur des Wassers und des Thieres ist der Wärmeverlust freilich größer, als man dem verbrauchten Sauerstoffe nach erwarten sollte; man muß aber auch bedenken, daß bei sehr kalter Umgebung die freie Bewegung des Thieres gehindert war, daß es durch vermehrte Bewegung das Athmen nicht gehörig beschleunigen konnte, daß es sich also in einem unnatürlichen Zustande befand, in welchem es nothwendig frieren mußte, und den es auf die Dauer unmöglich hätte ertragen können.

Wärmeentwicklung durch mechanische Mittel. Daß durch die 177
Compression der Luft Wärme frei wird, ist schon oben angeführt worden; durch rasche Compression der Luft kann eine sehr bedeutende Temperaturerhöhung bewirkt werden, und darauf gründet sich das pneumatische Feuerzeug. Die Flüssigkeiten, welche sich nur wenig comprimiren lassen, zeigen auch nur eine unbedeutende Temperaturerhöhung. Feste Körper werden durch Compression oft bedeutend erhitzt, wie man dies beim Hämmern der Metalle und beim Prägen der Münzen beobachten kann. Ob die Temperaturerhöhung fester Körper durch Compression gleichfalls dem Umstande zugeschrieben werden muß, daß mit der größern Dichtigkeit ihre specifische Wärme geringer wird, daß also ein Theil der Wärme, welche als specifische Wärme in derselben enthalten war, nun bei ihrer Compression als fühlbare Wärme austritt, ist noch nicht mit Sicherheit entschieden.

Welche bedeutenden Temperaturerhöhungen durch Reibung hervorgebracht werden können, ist allgemein bekannt. Ein eiserner Radschuh erhitzt sich oft so, daß er zischt, wenn er mit Wasser in Berührung kommt; trocknes Holz läßt sich durch Reibung entzünden, ja an einem laufenden Schleifsteine von $7\frac{1}{2}$ Fuß Durchmesser soll ein eiserner Nagel weißglühend werden. Bis jetzt ist man noch nicht im Stande, eine genügende Erklärung dieser Erscheinungen zu geben.

Theoretische Ansichten über die Wärme. Wir haben nun die 178
wichtigsten Gesetze der Wärmeerscheinungen kennen gelernt, ohne daß die Rede davon gewesen wäre, was denn eigentlich die Wärme sey. In dieser Beziehung ist also die Wärmelehre ganz so behandelt worden, wie der erste Theil der Lehre vom Lichte, wo auch die empirischen Gesetze der Spiegelung und Brechung entwickelt wurden, ohne weiter nach dem Wesen des Lichtes zu fragen; eine Theorie aber, aus welcher sich alle Wärmeer-

ſcheinungen nicht nur der Art, ſondern auch der Größe nach ſo vollſtändig ableiten laſſen, wie die Lichtphänomene aus der Wellentheorie, fehlt bis jetzt noch.

Gewöhnlich ſtellt man ſich die Wärme als einen imponderablen Stoff dar, welcher die Körper durchdringt; dieſe Vorſtellung paßt ſich mancher Erſcheinung, wie z. B. der Wärmebindung, der Wärmecapacität ganz gut an, ſie giebt uns für dieſe Erſcheinungen ein ganz gutes Bild, ja die Ausdrücke ſind auch mit Zugrundelegung dieſer Anſicht geſchaffen. Wenn ſich aber auch die Erſcheinungen der Wärmecapacität, der latenten Wärme, die Wärmeleitung ganz gut mit der Vorſtellung des Wärmeſtoffs vertragen, ſo iſt es doch auf der andern Seite höchſt unwahrſcheinlich, daß es immer ſolche gebe, wie denn wohl überhaupt imponderable Stoffe aus der Phyſik verſchwinden werden, wie es beim Lichte ſchon der Fall iſt. In der Wärmelehre ſteht der große Schritt, welcher der Einführung der Vibrationstheorie beim Lichte entſpricht, wohl am nächſten bevor.

Einige Erſcheinungen ſind mit der Annahme des Wärmeſtoffs gar nicht zu vereinigen: die Wärmeſtrahlung und Erzeugung der Wärme durch Reibung.

Die Geſetze der ſtrahlenden Wärme ſind denen der Lichtſtrahlung ſo ähnlich, daß die Idee nahe liegt, auch der Wärmeſtrahlung eine Aethervibration zuzuſchreiben. Wenn aber die ſtrahlende Wärme durch Vibrationen des Aethers ſich fortpflanzt, ſo müßte die fühlbare Wärme durch Vibrationen der materiellen Theile der Körper ſelbſt hervorgebracht werden.

Daß die Wärmeerſcheinungen in der That von ſolchen Vibrationen herrühren, iſt höchſt wahrſcheinlich, obgleich wir noch nicht im Stande ſind, alle Erſcheinungen der Wärme aus dieſer Hypotheſe nur einigermaßen genügend abzuleiten und wir die Vorſtellung eines Wärmeſtoffs zur leichteren Darſtellung und Ueberſicht noch nicht wohl entbehren können.

Um die Wärmeerſcheinungen durch Vibrationen zu erklären, müßte man wohl annehmen, daß die Temperatur der Körper mit der Oscillationsamplitude wächſt; dadurch würde ſich dann auch die Ausdehnung durch die Wärme erklären.

Beim Uebergange aus dem feſten Zuſtande in den flüſſigen und von dieſem in den gasförmigen wird die Anzahl der Vibrationen vermehrt. Bei gleicher Bewegungsgröße iſt eine Vergrößerung der Schwingungszahl nur möglich, wenn die Amplitude kleiner wird, und ſo erklärt ſich die Wärmebindung.

Achter Abschnitt.

Meteorologie.

Erstes Kapitel.

Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche.

Die Erwärmung der Erdoberfläche und der Atmosphäre, durch welche 179
allein das Gedeihen der Pflanzen- und Thierwelt möglich ist, haben wir nur den Strahlen der Sonne zu danken, welche somit als die Quelle alles Lebens auf unserm Planeten betrachtet werden muß. — Wo die Mittagssonne vertikal über den Köpfen der Bewohner steht, wo ihre Strahlen unter rechtem Winkel die Erdoberfläche treffen, da entwickelt sich eine üppige Vegetation, wenn eine zweite Bedingung ihrer Existenz, nämlich die Feuchtigkeit, nicht fehlt; wo aber die Sonnenstrahlen stets allzu schräg auffallen, um eine merkliche Wirkung hervorzubringen, da starrt die Natur von ewigem Eise, da hört alles Thier- und Pflanzenleben auf.

Um die Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche im Allgemeinen zu übersehen, müssen wir zunächst die Folgen der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde untersuchen.

In Folge der jährlichen Bewegung der Erde verändert die Sonne fortwährend ihre scheinbare Stellung am Himmelsgewölbe; der Weg, welchen sie am Himmelsgewölbe während eines Jahres durchläuft, geht durch 12 Sternbilder hindurch, welche den Thierkreis bilden.

Denken wir uns das Himmelsgewölbe als eine große Halbkugel, so bildet die Sonnenbahn auf dieser Halbkugel einen großen Kreis, welcher bekanntlich den Namen Ekliptik führt. Diese Ekliptik fällt nicht mit dem Himmelsäquator zusammen, sie schneidet ihn unter einem Winkel von $23^0\ 28'$.

Zweimal im Jahre, am 21. März und am 21. September, passirt die Sonne den Himmelsäquator. Vom März bis zum September befindet sie sich auf der nördlichen, vom September bis zum März auf der südlichen

Halbkugel; am 21. Juni erreicht sie ihren nördlichen, am 21. December ihren südlichen Wendepunkt, sie steht am 21. Juni 23° 28′ nördlich, am 21. December 23° 28′ südlich vom Himmelsäquator.

Die Richtung unserer Erdaxe fällt nun mit der Himmelsaxe, die Ebene des Erdäquators mit der des Himmelsäquators zusammen; wenn also die Sonne gerade auf dem Himmelsäquator steht, so treffen ihre Strahlen an jedem Orte des Erdäquators zur Mittagszeit rechtwinklig die Erdoberfläche, während sie die beiden Erdpole nur streifen und die den Polen näher liegenden Gegenden nur sehr schräg treffen.

Denken wir uns parallel mit dem Aequator 23° 28′ nördlich und eben so weit südlich von demselben einen Parallelkreis auf der Erdoberfläche gezogen, so ist ersterer der Wendekreis des Krebses, letzterer der Wendekreis des Steinbocks. Alle Orte, welche auf diesen Wendekreisen liegen, werden einmal im Jahre rechtwinklig von den Sonnenstrahlen getroffen, und zwar ist dies für den Wendekreis des Krebses am 21. Juni, für den Wendekreis des Steinbocks am 21. December der Fall.

Der ganze Erdgürtel, welcher zwischen den beiden Wendekreisen liegt, wird die heiße Zone genannt, weil hier die immer nur wenig schräg auffallenden Sonnenstrahlen die kräftigste Wirkung hervorbringen können.

Auf dem Aequator ist die Wärme das ganze Jahr hindurch ziemlich gleichförmig vertheilt, weil ja zweimal im Jahre die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf den Boden treffen und weil sie in den Zwischenzeiten auch nicht sehr schräg einfallen.

Je mehr man sich den Wendekreisen nähert, desto merklicher werden die Unterschiede der Temperatur in verschiedenen Zeiten des Jahres, desto deutlicher spricht sich der Charakter der Jahreszeiten aus. Auf den Wendekreisen fallen die Sonnenstrahlen nur einmal des Jahres rechtwinklig auf die Erdoberfläche und einmal machen sie einen Winkel von 47° mit der Richtung des Bleiloths, sie fallen also schon bedeutend schräg auf; die Temperatur der heißesten und kältesten Jahreszeit, welche ein halbes Jahr auseinander liegen, sind schon ziemlich bedeutend von einander verschieden.

Auf beiden Seiten der heißen Zone, von den Wendekreisen bis zu den Polarkreisen (die Polarkreise sind diejenigen Parallelkreise, für welche der längste Tag gerade 24 Stunden dauert, sie liegen gerade 66° 32′ nördlich und südlich vom Erdäquator) liegen die nördliche und südliche gemäßigte Zone; die vier Jahreszeiten sind in ihnen am entschiedensten ausgesprochen; im Allgemeinen nimmt natürlich die Wärme mit der Entfernung vom Aequator ab.

Um die beiden Pole herum bis zu den Polarkreisen liegen die nördliche und die südliche kalte Zone.

In Folge der Umdrehung der Erde um ihre Axe nimmt die Sonne an

der ſcheinbaren Bewegung aller Geſtirne Theil; eine Folge dieſer täglichen Bewegung iſt bekanntlich die Abwechſelung zwiſchen Tag und Nacht. Nur während des Tages wird die Erdoberfläche durch die Sonnenſtrahlen erwärmt, nach Sonnenuntergang ſtrahlt ſie Wärme gegen den Himmelsraum aus, ohne daß dieſer Verluſt erſetzt wird, während des Nachts muß alſo die Erdoberfläche erkalten.

Unter dem Aequator iſt Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch gleich; jeder Tag und jede Nacht dauert 12 Stunden; ſobald man ſich aber von dem Aequator entfernt, wechſelt die Tageslänge mit der Jahreszeit, und dieſer Wechſel wird um ſo auffallender, je mehr man ſich den Polen nähert. Die folgende Tabelle enthält die Dauer des längſten Tages für verſchiedene geographiſche Breiten:

Polhöhe	Dauer des längſten Tages
0	12 Stunden
16° 44′	13 »
30° 48′	14 »
41° 24′	15 »
49° 22′	16 »
54° 31′	17 »
58° 27′	18 »
61° 19′	19 »
63° 23′	20 »
64° 50′	21 »
65° 48′	22 »
66° 21′	23 »
66° 32′	24 »
67° 23′	1 Monat
69° 50′	2 »
73° 39′	3 »
90	6 »

Unter dem Aequator kann alſo der Wechſel der Tageslänge keinen Einfluß auf den Gang der Wärme in verſchiedenen Jahreszeiten haben. Da ſelbſt unter den Wendekreiſen die Ungleichheit der Tageslänge noch nicht ſehr bedeutend iſt, ſo kann alſo zwiſchen den Tropen überhaupt der Wechſel der Tageslänge nicht viel die Temperaturunterſchiede zwiſchen der heißen und kalten Jahreszeit vergrößern oder verkleinern; in ſehr hohem Grade iſt dies aber bei hohen Breiten der Fall.

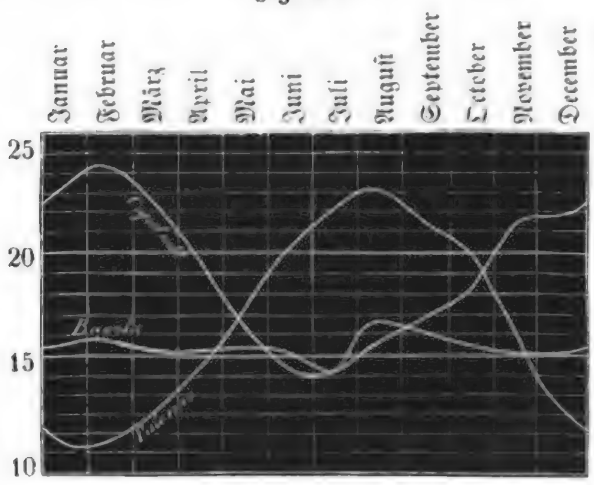
Im Sommer, wenn die Sonnenſtrahlen weniger ſchräg auffallen, verweilt in höheren Breiten die Sonne auch länger über dem Horizonte: die längere Dauer der Einwirkung erſetzt, was den Sonnenſtrahlen an Intenſität abgeht, und ſo kommt es, daß es ſelbſt an Orten, die ſehr weit vom

Aequator entfernt liegen, im Sommer ſehr heiß werden kann (in Petersburg ſteigt das Thermometer an heißen Sommertagen bisweilen auf 30°); im Winter hingegen, wo die ohnehin ſchräger auffallenden Sonnenſtrahlen überhaupt nur wenig wirken können, iſt der Tag obendrein ſehr kurz, die Nacht aber, während welcher der Boden ſeine Wärme ausſtrahlt, außerordentlich lang; und ſo muß alſo im Winter die Temperatur ſehr tief ſinken. Der Unterſchied zwiſchen der Temperatur des Sommers und des Winters wird alſo im Allgemeinen um ſo größer ſeyn, je weiter man ſich vom Aequator entfernt.

In Bogota, welches 4° 35′ nördlich vom Aequator liegt, beträgt die Temperaturdifferenz des heißeſten und kälteſten Monats nur 2°; in Mexico (19° 25′ N. B.) beträgt dieſe Differenz 8°; für Paris (48° 50′ N. B.) 27°, für Petersburg (59° 56′ N. B.) 32°.

Recht anſchaulich werden dieſe Verſchiedenheiten durch die graphiſchen Darſtellungen in Fig. 375 und Fig. 376 gemacht. Fig. 375 ſtellt die Ab- und Zunahme der mittleren Temperatur von Monat zu Monat für Sta. Fe de Bogota, Palermo und die Capſtadt, Fig. 376 (a. f. S.) aber ſtellt ſie für Mexico, Paris, Moskau und Boothia Felix dar. Für Bogota iſt die mittlere Temperatur des Februars nahe 16°, ſie ſinkt gegen Ende März auf 15°, die niedrigſte Temperatur von 14½° fällt in den Monat Juli, im Auguſt aber erreicht die Wärme ein Maximum von 16½°; die Kurve für Bogota zeigt alſo in ihrem Verlaufe durchaus kein ſtarkes Steigen und Fallen; die Jahreszeiten erſcheinen hier ganz verwiſcht.

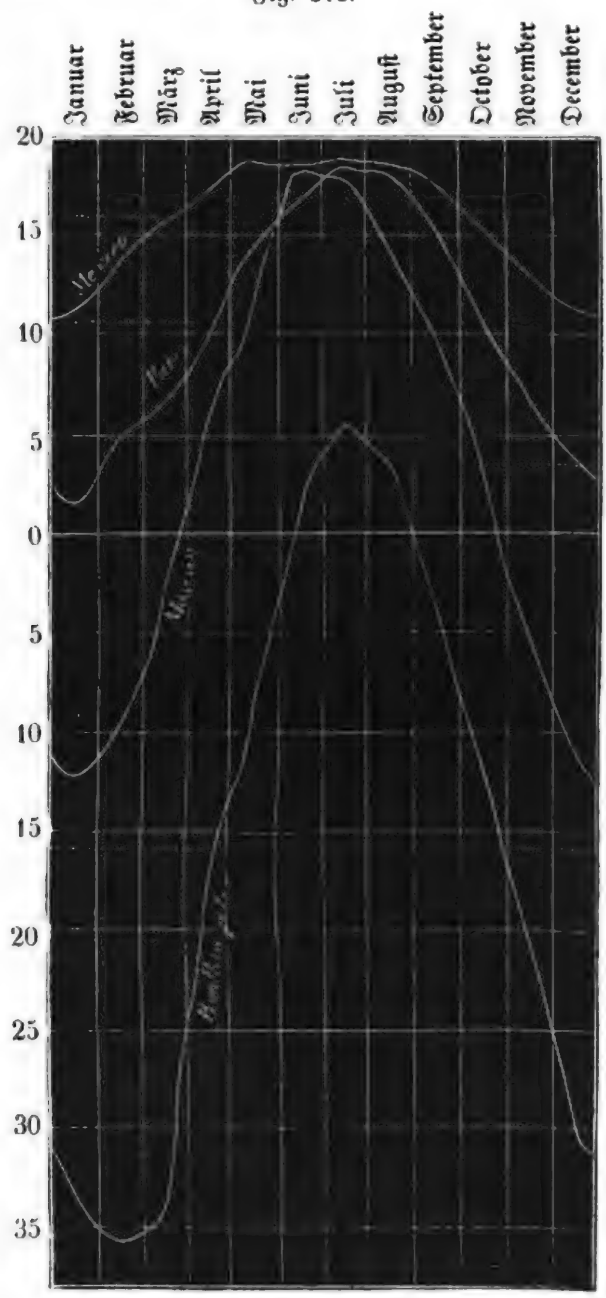
Fig. 375



Anders verhält es ſich in Palermo (38° 7′ N. B.). Hier herrſcht gegen Ende Januar die niedrigſte Temperatur des ganzen Jahres, nämlich 10,3°; dann nimmt die Wärme zu bis zum Anfang Auguſt, wo die mittlere Temperatur etwas über 23° beträgt; die Kurve für Palermo ſteigt und ſinkt alſo ſchon ſehr bedeutend im Vergleich gegen die von Bogota. Die Kurve für das Cap der guten Hoffnung iſt der von Palermo ſehr ähnlich, nur fällt natürlich der Sommer am Cap mit der kalten Jahreszeit in

Palermo zuſammen, weil das Cap auf der ſüdlichen, Palermo auf der nördlichen Halbkugel liegt.

Fig. 376.



Die Temperaturkurve für Mexico, welches dem Wendekreiſe des Krebſes ſehr nahe liegt, iſt noch nicht ſehr ſteil, ſchon ſteiler iſt die Kurve für Paris, ſehr ſteil endlich ſind die Kurven für Moskau und Boothia Felix; an dem zuletzt genannten Orte beträgt die Temperaturdifferenz zwiſchen dem heißeſten und kälteſten Monat 41°.

Aus den oben angedeuteten Betrachtungen folgt alſo:

1) daß die Wärme von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muß.

2) daß in der Nähe des Aequators die Wärme über das ganze Jahr ziemlich gleichförmig verbreitet iſt, daß alſo der Charakter unſerer Jahreszeiten dort ganz verwiſcht ſeyn muß.

3) daß die Jahreszeiten mit der Entfernung vom Aequator immer deutlicher vortreten und daß zugleich die Differenz zwiſchen der Sommer- und Wintertemperatur immer bedeutender wird.

4) daß ſelbſt bis in die Nähe der Polarkreiſe der Sommer noch bedeutend heiß ſeyn kann.

Alles dies finden wir auch durch die Erfahrung bestätigt, und dennoch lehrt uns eine solche Betrachtung die Wärmevertheilung auf der Erde nur in sehr groben Zügen kennen; es ist unmöglich aus der geographischen Breite eines Ortes einen auch nur einigermaßen sichern Schluß auf seine klimatischen Verhältnisse zu ziehen.

Wenn die ganze Erdoberfläche mit Wasser bedeckt oder wenn sie nur durch festes überall flaches Land gebildet wäre, welches überall von gleicher Beschaffenheit an allen Orten eine gleiche Fähigkeit besäße die Wärmestrahlen zu absorbiren und wieder auszustrahlen; so würde die Temperatur eines Ortes nur noch von seiner geographischen Breite abhängen, alle Orte desselben Breitengrades müßten ein gleiches Klima haben. Nun aber ist die Wirkung, welche die Sonnenstrahlen hervorbringen können, durch mannichfache Ursachen modificirt, das Klima einer Gegend hängt nicht allein von der Richtung der Sonnenstrahlen, sondern auch von den Umständen ab, unter welchen sie wirken; es hängt ab von der Gestaltung des Landes und des Meeres, von der Richtung und Höhe der Gebirgszüge, von der Richtung der herrschenden Winde u. s. w. Daher kommt es denn, daß Orte von gleicher geographischer Breite oft ein sehr ungleiches Klima haben, und man sieht leicht ein, daß theoretische Betrachtungen nicht ausreichen, um die klimatischen Verhältnisse abzuleiten; die wahre Vertheilung der Wärme auf der Erdkugel läßt sich nur durch zahlreiche, Jahre lang fortgesetzte Beobachtungen genügend ermitteln. Humboldt hat hier den für alle Naturwissenschaften einzig und allein zur Wahrheit führenden Weg der Induction zuerst mit Erfolg betreten. Auf seinen Reisen auf beiden Hemisphären hat er mit unermüdlichem Eifer Thatsachen gesammelt und hat durch geistreiche Combination dieser Thatsachen zuerst eine wissenschaftliche Meteorologie begründet.

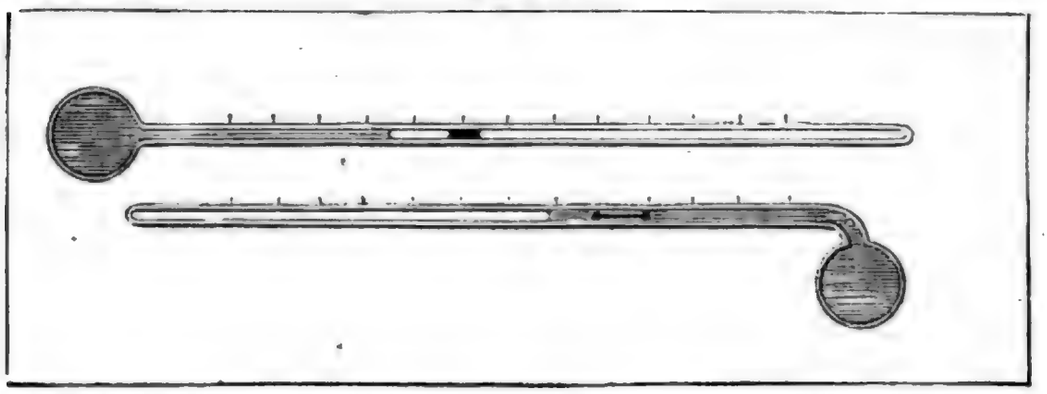
180 **Beobachtung des Thermometers.** Um die Temperatur der Luft an einem Orte genau beobachten zu können, muß man ein gutes Thermometer auf der Nordseite eines Gebäudes in der freien Luft 3 bis 4 Decimeter von der Wand aufstellen, so daß es nicht von den Sonnenstrahlen getroffen werden kann; auch darf keine weiße Wand in der Nähe seyn, von der man befürchten muß, daß sie Wärmestrahlen nach dem Thermometer reflectirt. Wenn das Thermometer naßgeregnet ist, so muß man die Kugel 5 Minuten, bevor man es ablesen will, vorsichtig abtrocknen, denn die anhängenden Wassertropfen würden durch ihre Verdunstung die Temperatur des Quecksilbers in der Kugel erniedrigen.

Es ist für die Meteorologie oft von der größten Wichtigkeit, die höchste und die niedrigste Temperatur zu erfahren, welche während irgend eines Zeitraums geherrscht hat, ohne daß man nöthig hat, gerade in den Momenten das Thermometer zu beobachten, in welchen das Maximum oder

Minimum ſtattfindet. Dies erreicht man nun durch den Thermometrographen ſowohl als durch das Maximum- und Minimumthermometer von Walferdin.

Das Thermometrograph iſt Fig. 377 abgebildet; es beſteht aus

Fig. 377.



zwei Thermometern, deren Röhren wagerecht liegen und von denen das eine ein Queckſilberthermometer, das andere ein Weingeiſtthermometer iſt. In der Röhre des Queckſilberthermometers liegt ein Stahlſtiftchen, welches durch die Queckſilberſäule fortgeſchoben wird, wenn ſich das Queckſilber in der Kugel dieſes Thermometers ausdehnt; wenn nun aber das Thermometer wieder erkaltet, ſo zieht ſich die Queckſilberſäule wieder zurück, das Stahlſtäbchen aber bleibt an der Stelle liegen, bis zu welcher es bei dem höchſten Stande des Thermometers geſchoben worden war; ein ſolches Thermometer giebt alſo das Maximum der Temperatur an, welches innerhalb einer gewiſſen Periode geherrſcht hat.

In der Röhre des Weingeiſtthermometers liegt ein ganz feines Glasſtäbchen, welches an beiden Enden etwas dicker iſt, wie man Fig. 377 deutlich ſieht; das Glasſtäbchen liegt noch in dem Weingeiſtſäulchen, und wenn der Weingeiſt an der Kugel erkaltet und ſich die Weingeiſtſäule in der Röhre bis an das erſte Knöpfchen des Glasſtäbchens zurückgezogen hat, ſo wird bei fernerem Sinken der Temperatur das Glasſtäbchen in Folge der Adhäſion zwiſchen Weingeiſt und Glas durch die noch weiter ſich zurückziehende Weingeiſtſäule mitgenommen; wenn aber die Flüſſigkeit in der Kugel wieder wärmer wird, ſo geht beim Steigen des Thermometers die Flüſſigkeit an dem Stäbchen vorbei, ohne es fortzuſchieben; das Stäbchen, welches von dunkelfarbigem Glaſe gemacht ſeyn muß, damit man es deutlich ſehen kann, bleibt alſo an der Stelle liegen, welche dem Minimum der Temperatur entſpricht, welche innerhalb eines gewiſſen Zeitraumes herrſchte.

Wenn die Kugel des einen Thermometers auf der rechten Seite liegt, ſo liegt die des andern links, und wenn man den ganzen Apparat etwas neigt und leiſe daran ſtößt, ſo fällt das Stahlſtäbchen durch ſein Gewicht

Fig. 378.

bis auf die Queckſilberſäule, das Glasſtäbchen aber bis an das Ende der Weingeiſtſäule herab. Wenn man das ſo vorgerichtete Inſtrument ſtehen läßt, ſo wird bei jedem Steigen der Temperatur das Stahlſtäbchen fortgeſchoben, das Glasſtäbchen aber bei jedem Sinken der Temperatur zurückgezogen.

Dieſes Inſtrument iſt beſonders geeignet, um das Maximum und Minimum der täglichen Temperatur anzugeben. Wenn man es etwa jeden Abend in Stand ſetzt, ſo kann man den folgenden Abend ableſen, welches die höchſte und welches die niedrigſte Temperatur während der letzten 24 Stunden war

Walferdin's Maximumthermometer iſt Fig 378 abgebildet. Es iſt ein gewöhnliches Queckſilberthermometer, welches an ſeinem obern Ende ein Ausflußbehälter *a* hat, in welches die offene Spitze *b* der Thermometerröhre hineinragt. Um dies Thermometer zur Beobachtung vorzubereiten, neigt man es etwas, ſo daß die Spitze des Thermometerrohres ganz von dem Queckſilber des Ausflußbehälters umgeben iſt; man erwärmt es dann, bis die ganze Röhre mit Queckſilber gefüllt iſt, und läßt es dann bis zu einer Temperatur erkalten, die ſicherlich unter dem zu beobachtenden Maximum liegt; alsdann ſtellt man das Thermometer wieder aufrecht, ſo daß das überflüſſige Queckſilber wieder von der Spitze weg in den ſackartigen Behälter zurückfließt. Nehmen wir an, man habe das Thermometergefäß, um es zu erkalten, in Waſſer getaucht, deſſen Temperatur genau 20° beträgt, ſo iſt alſo bei 20° die Thermometerröhre vollſtändig mit Queckſilber gefüllt; ſobald es alſo einer Temperatur ausgeſetzt wird, welche über 20° hinausgeht, muß das Queckſilber in Tröpfchen aus der Spitze der Röhre auslaufen (Fig. 380). Wenn man nun das Thermometergefäß wieder auf 20° erkaltet, ſo wird nicht mehr die ganze Röhre mit Queckſilber angefüllt ſeyn, ſondern der Gipfel der Queckſilberſäule wird jetzt tiefer ſtehen, weil ja ein Theil des Queckſilbers ausgefloſſen iſt. Nehmen wir an, der Gipfel der Queckſilberſäule ſtünde jetzt 15°

Fig. 379.

Fig. 380.

Fig. 381.

unter der Spitze *b*, so ist klar, daß bei einer Temperatur von 20 + 15° die Röhre wieder ganz mit Quecksilber ausgefüllt seyn würde; das Maximum der Temperatur, welcher das Thermometer unterdessen ausgesetzt war, wäre also für diesen Fall 35°.

Walferdin's Minimumthermometer ist Fig. 381 dargestellt. Das Gefäß *a* ist mit Quecksilber gefüllt, über welchem sich etwas Weingeist befindet; in diesen Weingeist ragt die Spitze der Thermometerröhre herab. Um das Thermometer zur Beobachtung vorzubereiten, erkaltet man es unter die Temperatur, welcher es ausgesetzt werden soll, kehrt es alsdann um, wie man Fig. 382 sieht, und treibt dadurch, daß man es nun wieder etwas erwärmt, eine Quecksilbersäule in die Röhre, welche ungefähr die Länge von 15 Graden einnimmt; darauf wird das Thermometer wieder in seine aufrechte Stellung gebracht, und dadurch, daß man es in ein Wasserbad von genau bekannter Temperatur taucht, auf eine Temperatur gebracht, welche jedenfalls höher ist als das zu erwartende Temperaturminimum; die Stelle, an welcher jetzt der Gipfel der Quecksilbersäule steht, wird nun notirt. Nehmen wir an, der Gipfel der Quecksilbersäule stehe bei 20° und die Temperatur des Wasserbades sey 12° gewesen. Sobald nun das Thermometer niedrigeren Temperaturen ausgesetzt wird, sinkt die Quecksilbersäule, und ein Theil des Quecksilbers tröpfelt aus der Röhre durch den Weingeist in das untere Gefäß; wenn nun auch die Temperatur wieder steigt, so tritt doch kein Quecksilber mehr in die Röhre, der Quecksilberfaden ist also jetzt kürzer als vorher; nehmen wir an, er nehme nur noch eine Länge von 6° ein, so muß unterdeß die Temperatur um 20 — 6, also um 14° unter die Temperatur des Wasserbades gefallen gewesen seyn, das Minimum der Temperatur, welcher unterdeß das Thermometer ausgesetzt gewesen war, wäre also für unsern Fall 12 — 14, also — 2° gewesen.

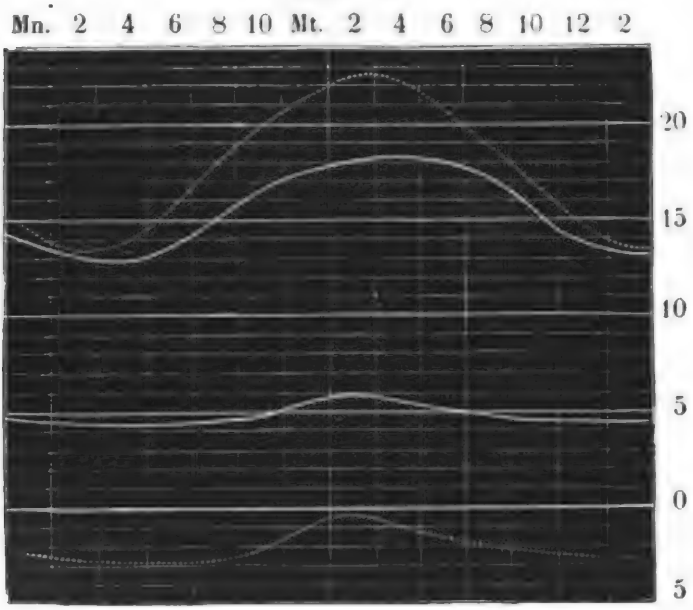
Fig. 382.

Walferdin's Maximumthermometer wird gewöhnlich angewandt, um die Temperatur in tiefen Bohrlöchern, das Minimumthermometer, um die Temperatur des Meeres in bedeutenden Tiefen zu erforſchen.

181 **Tägliche Veränderungen der Temperatur.** Um alle Veränderungen der Wärme der Atmoſphäre während 24 Stunden genau verfolgen zu können, müßte man ein Thermometer in möglichſt kurzen Zwiſchenräumen, etwa von Stunde zu Stunde, beobachten. Wenn ſolche Beobachtungen längere Zeit fortgeſetzt werden ſollen, ſo iſt klar, daß eine einzelne Perſon ſie nicht anſtellen kann und daß wenigſtens mehrere ſich zu dieſem Zwecke vereinigen müſſen; jedenfalls iſt es ſehr mühſam, ſolche Beobachtungsreihen anzuſtellen. Chiminello ſtellte zuerſt eine ſolche Reihe von Beobachtungen in Padua während eines Zeitraums von 16 Monaten an; ſpäter wurde eine ähnliche Beobachtungsreihe auf Brewſter's Veranlaſſung auf dem Fort Leith bei Edinburg angeſtellt, andere von Gatterer in Göttingen, Kupffer in Petersburg, Kämtz in Halle u. ſ. w. Die Fig. 383 ſtellt den ſich aus ſolchen Beobachtungen ergebenden täglichen Gang der Temperatur für den heißeſten und kälteſten Monat zu Halle und Leith dar.

Die ausgezogenen Kurven gelten für Leith, die punktirten für Halle.

Fig. 383.



In Halle iſt die mittlere Temperatur um 1 Uhr Nachts für den heißeſten Monat (Juli) 14°; ſie erreicht kurz vor 3 Uhr Morgens ihr Minimum von 13,4°, ſie ſteigt alsdann fortwährend bis 3 Uhr Nachmittags,

wo sie ihr Maximum von 22,6° erreicht, worauf sie dann wieder sinkt.

Im Januar, dem kältesten Monate, beobachtet man das Minimum der täglichen Wärme, nämlich — 2,86°, ungefähr um 7 Uhr Morgens, das Maximum von — 0,59° aber ungefähr um 1 Uhr Nachmittags.

Für Leith findet das Minimum der Temperatur während des wärmsten Monats (Juli), nämlich eine Temperatur von 13°, Morgens um 4 Uhr, das Maximum von 18,24° gegen 5 Uhr Nachmittags Statt. Während des kältesten Monats (Januar) schwankt das Thermometer zu Leith zwischen einem Maximum von 5,89 und einem Minimum von 4,41°; ersteres fällt ungefähr auf 3 Uhr Nachmittags, letzteres ungefähr um 6 Uhr Morgens.

Das Minimum der Temperatur findet also kurz vor Sonnenaufgang, das Maximum einige Stunden nach Mittag Statt, und zwar im Sommer später, im Winter früher.

Dieser Gang läßt sich leicht erklären. Vor Mittag, während die Sonne stets höher und höher steigt, empfängt die Erdoberfläche mehr Wärme als sie ausstrahlt, ihre Temperatur und die Temperatur der Atmosphäre muß also steigen; dies dauert nun auch noch etwas über Mittag hinaus; wenn die Sonne aber tiefer sinkt, wenn ihre Strahlen weniger wirksam werden, so strahlt die erwärmte Erde mehr Wärme aus, als durch die Sonnenstrahlen ersetzt werden kann; diese Erkaltung dauert natürlich nach Sonnenuntergang noch fort, bis die Morgenröthe die Wiederkehr der Sonne ankündigt.

Nicht immer werden die täglichen Schwankungen des Thermometers diesen normalen Gang verfolgen, weil derselbe oft durch fremde Einflüsse, z. B. durch Umschlagen der Witterung, gestört wird; um das Gesetz der täglichen Wärmeveränderungen mit Sicherheit zu ermitteln, muß man deshalb den normalen Gang aus einer Combination möglichst zahlreicher Beobachtungen ableiten.

An manchen Orten leidet der normale Gang der täglichen Wärmevariationen durch örtliche Einflüsse, z. B. durch Windströmungen, regelmäßige Störungen, wodurch die Zeit des Maximums eine beständige Verrückung erleidet; so tritt an manchen Meeresküsten der heißen Zone das Maximum der täglichen Temperatur schon vor Mittag, z. B. im Mai zu Madras um 11 Uhr 18′ ein.

Die Betrachtung der Kurven, Fig. 383, führt uns noch zu anderen interessanten Resultaten. In Halle schwankt das Thermometer während des heißesten Monats in 24 Stunden durchschnittlich zwischen 13,5° und 22,5°, also um 9°, während für denselben Monat die Gränzen der täglichen Schwankungen des Thermometers für Leith nur etwas mehr als 5° auseinanderliegen; ein ähnliches Verhalten finden wir auch bei den

Winterkurven; auch hier ſind die täglichen Veränderungen des Thermometerſtandes für Halle bedeutender als für Leith; außerdem zeigen uns dieſe Kurven, daß der Sommer in Halle wärmer, der Winter aber kälter iſt als in Leith. Wir werden auf dieſen wichtigen Punkt zurückkommen, wenn wir die Unterſchiede zwiſchen einem Land- und Seeklima beſprechen werden.

Wenn man das Mittel aus je 24ſtündlichen Beobachtungen nimmt, ſo erhält man die mittlere Temperatur des Tages; ſo ergiebt ſich aus den Beobachtungen, nach welchen Fig. 383 conſtruirt wurde, 18,2° für Halle und 15,7° für Leith als die mittlere Tagestemperatur im Monat Juli; — 2,05° und 5° aber für die mittlere Tagestemperatur im Monat Januar für Halle und Leith.

Da es ungemein mühſam iſt, ſtündliche Thermometerbeobachtungen längere Zeit hindurch fortzuſetzen, ſo iſt es für die Meteorologie von der größten Wichtigkeit, Methoden ausfindig zu machen, durch welche man die mittlere Tagestemperatur ohne dieſe ſtündlichen Beobachtungen ausfindig machen kann. Zweimal des Tages muß das Thermometer die mittlere Tagestemperatur angeben, es ſcheint alſo am einfachſten, die Stunden auszumitteln, in welchen dies der Fall iſt, und dann nur zu dieſen Stunden das Thermometer abzuleſen; dieſe Beſtimmungsweiſe kann aber leicht zu Unrichtigkeiten führen, weil ſich der Stand der Thermometer gerade zu der Zeit am ſchnellſten verändert, weil man alſo einen bedeutenden Fehler begehen kann, wenn man nur etwas zu früh oder zu ſpät beobachtet. Ein weit richtigeres Reſultat erhält man, wenn man das Thermometer in mehreren gleichnamigen Stunden, etwa um 4 Uhr und um 10 Uhr Morgens und um 4 Uhr und 10 Uhr Abends, beobachtet; dies Mittel iſt, wie Brewſter gezeigt hat, bis auf $\frac{1}{10}$ Grad genau; auch erhält man ein brauchbares Reſultat, wenn man um 7 Uhr Morgens, des Mittags und um 10 Uhr Abends beobachtet und aus dieſen 3 Beobachtungen das Mittel nimmt.

Das Mittel zwiſchen dem innerhalb 24 Stunden ſtattfindenden höchſten und niedrigſten Thermometerſtande weicht, wie Humboldt durch die Vergleichung zahlreicher Beobachtungen gezeigt hat, die er zu Paris und unter dem Aequator anſtellte, nur um einige Zehntel eines Grades von der wahren mittleren aus allen ſtündlichen Beobachtungen abgeleiteten Temperatur ab. Das Maximum und Minimum der täglichen Temperatur läßt ſich am bequemſten und am genaueſten mit Hülfe eines Thermometrographen ermitteln.

Durch die Vergleichung der wahren mittleren Tagestemperatur mit dem Mittel aus dem höchſten und niedrigſten Thermometerſtande läßt ſich ein Correctionsfactor ermitteln, vermittelſt deſſen man im Stande iſt, aus der

Beobachtung des täglichen Maximums und Minimums ganz genau das wahre Tagesmittel zu berechnen, ja man ist durch die Kenntniß des täglichen Ganges der Wärme im Stande, aus Beobachtungen, die zu beliebigen Stunden des Tages gemacht worden sind, das Tagesmittel abzuleiten, doch können wir hier nicht weiter darauf eingehen.

Wenn man für irgend einen Tag durch die nöthigen Beobachtungen die mittlere Temperatur ermittelt hat, so wird man in einem andern Jahre an demselben Tage nicht genau dieselbe Temperatur, sondern bald eine höhere, bald eine tiefere finden; so ergaben sich aus den Beobachtungen des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. für die mittlere Temperatur des 14. Juli von 1837 bis 1842 folgende Werthe:

1837	16,4° R.
1838	22,2
1839	19,5
1840	12,0
1841	13,8
1842	18,5
	Mittel 17,06° R.

Für Frankfurt a. M. ist also nach diesen 5jährigen Beobachtungen die mittlere Temperatur des 14. Juli 17,06° R. Eine so kurze Periode reicht jedoch nicht hin, um die Durchschnittszahl der mittleren Temperatur irgend eines Tages im Jahre mit Sicherheit zu ermitteln.

Mittlere Temperatur der Monate und des Jahres. Wenn 182
man die mittlere Temperatur aller Tage eines Monates kennt, so ha man nur die Summe der mittleren Tagestemperaturen durch die Anzahl der Tage zu dividiren, um die mittlere Temperatur des Monats zu erhalten.

Nimmt man das arithmetische Mittel aus den für die 12 Monate des Jahres gefundenen Mitteltemperaturen, so erhält man die mittlere Temperatur des Jahres.

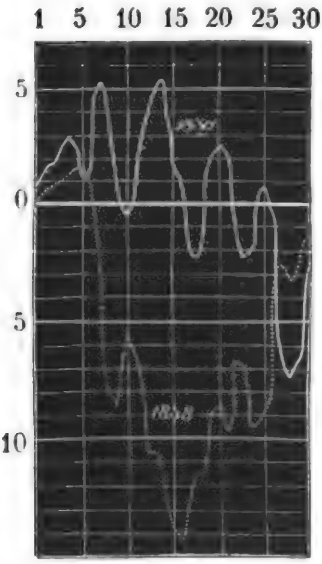
Um die mittlere Temperatur eines Ortes mit Genauigkeit zu bestimmen, muß man das Mittel aus einer möglichst großen Reihe von mittleren Jahrestemperaturen nehmen. In der Regel weichen aber die mittleren Jahrestemperaturen nur wenig von einander ab, so daß man die mittlere Temperatur eines Ortes selbst dann schon mit ziemlicher Genauigkeit erhält, wenn man sie nur für einige Jahre kennt. Für Paris waren folgende die mittleren Temperaturen der Jahre 1803 bis 1816:

10,5°	10,3°	9,9°
11,1	10,6	9,7
9,7	10,5	10,5
11,9	10,5	9,6
10,8	9,9.	

Die höchſte dieſer mittleren Jahrestemperaturen iſt von der niedrigſten um 2,3° verſchieden. Nimmt man das Mittel aus dieſen 14 Zahlen, ſo erhält man als mittlere Temperatur von Paris 10,2°, aus einer Reihe von 30 Jahresmitteln ergiebt ſich dagegen 10,8°.

Während die mittlere Jahrestemperatur an einem und demſelben Orte nur unbedeutend ſchwankt, iſt die Verſchiedenheit der mittleren Temperatur eines und deſſelben Monats von einem Jahre zum andern oft ſehr verſchieden, wie dies z. B. durch die Betrachtung der Fig. 384 recht anſchaulich wird, welche die Schwankungen der mittleren Tagestemperatur im Monate Januar für die Jahre 1838 und 1839 zu Frankfurt a. M. darſtellt. Man ſieht auf den erſten Blick, daß der Januar 1838 ungleich kälter war als im Jahre 1839. Im Januar 1838 ſank das Thermometer am 6. Januar unter Null und blieb dann den ganzen Monat hindurch unter dem Gefrierpunkte; die Temperatur erreichte am 16. ein Minimum von — 14,4° R., während die niedrigſte mittlere Tagestemperatur im Januar 1839 nur — 7¼° R. betrug. Die mittlere Temperatur des Monats Januar war im Jahre 1838 — 5,9° R., im Jahre 1839 aber + 0,33° R.; die mittlere Temperatur des Januars 1838 war alſo um mehr als 6° niedriger als die des Januars 1839.

Fig. 384.



Um die wahre Mitteltemperatur eines Monats zu finden, muß man die mittlere Temperatur dieſes Monats für eine Reihe von Jahren kennen und daraus das Mittel nehmen.

Die größte Hitze findet in der Regel in unſeren Gegenden einige Zeit nach dem Sommerſolſtitium, die größte Kälte etwas nach dem Winterſolſtitium Statt.

Der Juli iſt durchſchnittlich der heißeſte, der Januar der kälteſte Monat. Wenn die Zeit der höchſten und niedrigſten Temperatur nicht

für alle Orte derselben Hemisphäre genau dieselbe ist, so ist eine solche Verschiedenheit nur durch locale Einflüsse bestimmt.

Im Durchschnitt können wir für die gemäßigte Zone der nördlichen Halbkugel den 26. Juli für den heißesten, den 14. Januar für den kältesten Tag des Jahres betrachten.

Arago hat in einer Liste alle Tage zusammengestellt, an welchen zu Paris von 1665 bis 1823 das Maximum und das Minimum der Temperatur beobachtet worden war. Die kältesten Tage fallen meistens in die zweite Woche des Januar, die heißesten Tage sind unregelmäßig im Juli und August vertheilt. In Mastrich fiel während der Jahre 1818 bis 1833 das Maximum der Temperatur

11mal in den Juli
3mal » » August
2mal » » Juni.

Das Minimum aber

6mal in den Januar
5mal » » Februar
3mal » » December
2mal » » März.

Im Durchschnitt fällt dort die höchste Temperatur auf den 19. Juli, die niedrigste auf den 22. Januar.

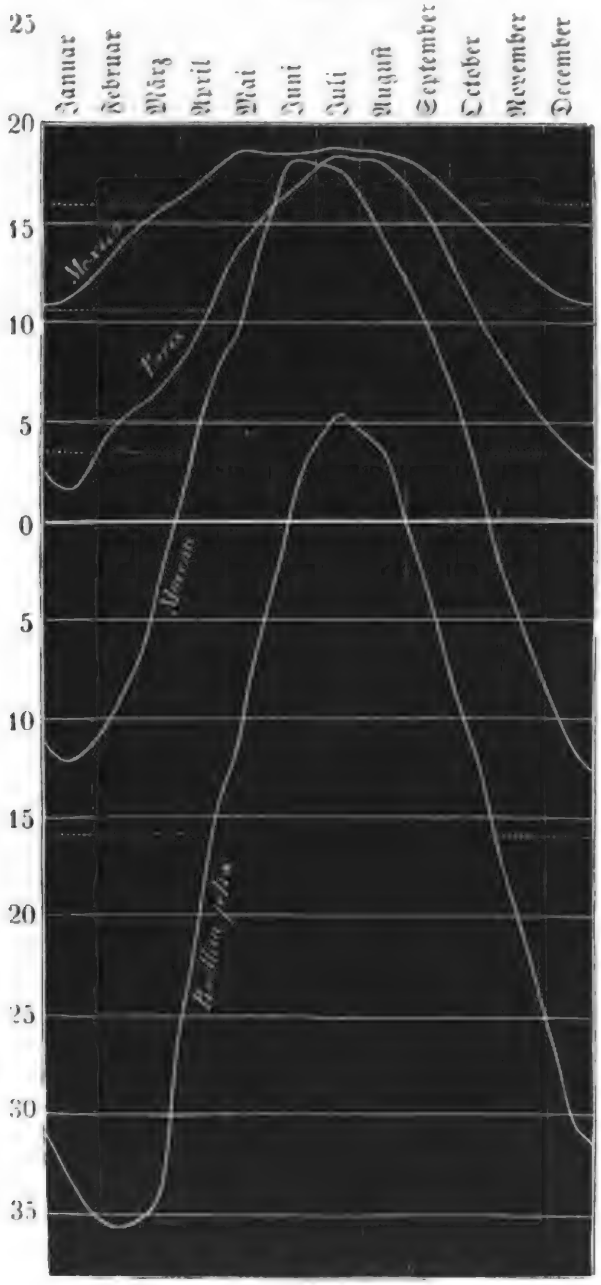
In Frankfurt a. M. wurden die Maxima und Minima der Temperatur von 1838 bis 1842 an folgenden Tagen beobachtet:

	Maxima:	Minima:
1838	14. Juli . . 27,7° R.	16. Januar — 18,0
1839	17. Juni . . 27,0	28. Januar — 9,4 4. Februar — 9,6
1840	2. Juni. . 23,0 2. Septbr. 23,4	12. Januar — 12,7 16. Decbr. — 14,9
1841	24. Mai . . 25,1	6. Februar — 11,0
1842	19. August 26,0	12. Januar — 9,0.

Nach 20jährigen Beobachtungen zu Frankfurt a. M. ergiebt sich, daß daselbst im Durchschnitt der 22. Juli der heißeste, der 15. Januar der kälteste Tag des Jahres ist.

Aus Fig. 385 ſieht man, daß das Minimum der Temperatur in Mexico in der Regel auf den Anfang Januar, in Paris und Moskau auf die Mitte des Januar, für Boothia Felix aber auf die Mitte des Februar fällt. Die heißeſte Zeit iſt für Paris die letzte Hälfte des Juli und die erſte des Auguſt, für Moskau die letzte Hälfte des Juni und die erſte des Juli, für Boothia Felix die Mitte des Juli.

Fig. 385.



Da die Temperatur ungefähr während eines halben Jahres höher, während des andern halben Jahres aber niedriger iſt als die mittlere Jahrestemperatur, ſo iſt klar, daß der mittlere Gang der Wärme zweimal die mittlere Jahrestemperatur paſſiren muß, und es läßt ſich ſchon im Voraus denken, daß dies im Frühjahr und im Herbſt der Fall ſeyn wird. Wie man in unſerer Figur ſieht, iſt die mittlere Jahrestemperatur für jeden der 4 Orte durch eine horizontale punktirte Linie angedeutet, welche auf beiden Seiten vom Rande der Figur bis zur entſprechenden Temperaturkurve geht; man überſieht auf dieſe Weiſe leicht, daß für Paris und Moskau ungefähr im April und October die mittlere Jahrestemperatur herrſchen wird.

In Boothia Felix herrscht die mittlere Jahrestemperatur ebenfalls in der Mitte April und zu Ende October, in Mexico im März und im October.

Für Frankfurt a. M. tritt der mittlere Wärmegrad des ganzen Jahres durchschnittlich am 8. April und am 18. October ein.

Aus zahlreichen Temperaturbeobachtungen geht hervor, daß in der nördlichen gemäßigten Zone die mittlere Jahrestemperatur in der Regel auf den 24. April und den 21 October fällt; der jährliche Gang der Wärme ist demnach in diesen Gegenden folgender. Die Temperatur steigt von der Mitte Januar anfangs langsam, schneller im April und Mai, dann wieder langsamer bis zur Mitte Juli, darauf nimmt sie wieder ab, und zwar langsam im August, schneller im September und October, und erreicht in der Mitte Januar wieder ihr Minimum. Dieser Gang läßt sich leicht erklären. Wenn die Sonne nach dem Wintersolstitium wieder höher steigt, so geschieht doch dieses Steigen so langsam, die Tage nehmen so wenig zu, daß noch keine kräftigere Wirkung der Sonnenstrahlen möglich ist, das Minimum der Jahrestemperatur findet deshalb nach dem Wintersolstitium Statt; ein Steigen der Temperatur findet erst Statt, wenn die Sonne schon etwas weiter nach Norden gerückt ist; um die Zeit der Aequinoctien schreitet die Sonne am Himmelsgewölbe am schnellsten gegen Norden vor, deshalb ist um diese Zeit die Temperaturzunahme auch am merklichsten.

Wenn die Sonne ihren höchsten Stand erreicht hat, ist die Erde noch nicht so stark erwärmt, daß die Wärme, welche der Boden durch die Ausstrahlung verliert, der Wärmemenge gleich ist, welche er durch die Sonnenstrahlen erhält; dieser Gleichgewichtszustand würde sich, wenn die Sonne längere Zeit an dem nördlichen Wendepunkte stehen bliebe, erst nach einiger Zeit herstellen. Nun geht aber die Sonne nach dem Sommersolstitium anfangs nur sehr langsam zurück, die Wirkung der Sonnenstrahlen ist einige Zeit hindurch fast noch eben so stark wie im Momente des Solstitiums selbst; die Temperatur wird also auch noch nach dem längsten Tage, und zwar bis zur Mitte Juli, steigen, um dann wieder abzunehmen.

Diese Betrachtungen führen uns auf die Eintheilung des Jahres in vier Jahreszeiten.

Für die Meteorologie ist die astronomische Eintheilung, bei welcher die Jahreszeiten durch die Aequinoctien und Solstitien abgegränzt sind, nicht ganz zweckmäßig; am passendsten möchte es wohl seyn, das Jahr so einzutheilen, daß der heißeste Monat (Juli) in die Mitte des Sommers, der kälteste Monat (Januar) in die Mitte des Winters fällt. Demnach umfaßt der Winter die Monate December, Januar, Februar; der Früh-

ling März, April, Mai; der Sommer Juni, Juli, Auguſt; der Herbſt September, October und November. Nach dieſer Bedeutung ſind auch die Jahreszeiten in der folgenden Tabelle zu nehmen, welche für eine große Anzahl von Orten, die über die ganze Erde zerſtreut liegen, die mittlere jährliche Temperatur, die mittlere Temperatur der einzelnen Jahreszeiten, des heißeſten und des kälteſten Monats enthält. Dieſe Tabelle iſt gewiſſermaßen ein Auszug aus der noch weit mehr Orte enthaltenden Mahlmann'ſchen Tabelle, welche dem dritten Theile von Humboldt's Asie centrale angehängt iſt.

Mittlere Temperatur von 123 Orten, nach Mahlmann.

Orte.	Breite.	Länge östlich und westlich von Paris.	Höhe über dem Meeresspiegel in Metern.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des Winters.	des Frühjahrs.	des Sommers.	des Herbstes	des kältesten Monats	des wärmsten Monats.	Zahl der Beobachtungs-Jahre.
Insel Melville . . .	74° 47′ N	113° 8′ W	—	— 18,7	— 33,5	— 19,5	2,8	— 18,0	— 35,8 Febr.	5,8 Juli.	1
Ustjansk	70 55 —	136 4 O	—	— 16,6	— 38,4	— 14,7	9,2	— 23,9	— 40,3 Jan.	13,7 —	1 - 3
Boothia-Felix	70 2 —	94 10 W	—	— 15,7	— 33,2	— 20,7	3,4	— 12,4	— 35,6 Febr.	5,1 —	2—3
Jakuzk	62 1 —	126 47 O	117	— 9,7	— 38,9	— 8,3	17,2	— 6,6	— 40,5 —	20,3 —	. . .
Nain (Labrador) . .	57 10 —	64 10 W	—	— 3,6	— 18,5	— 5,8	7,6	— 2,2	— 20,9 —	9,3 Aug.	3
Enontekis	68 40 —	20 0 O	435	— 2,7	— 17,0	— 3,9	12,6	— 2,7	— 17,8 Jan.	14,5 Juli.	4
Casino auf dem Aetna	37 6 —	12 41 —	2990	— 1,3	— 8,6	— 2,7	6,6	— 0,6	— 17,8 —	14,5 —	4
St. Bernhard . . .	45 50 —	4 45 —	4843	— 1,0	— 7,8	— 2,0	6,1	— 0,4	— 8,7 —	6,8 —	21
Slatoust	55 8 —	57 8 —	322	— 0,7	— 16,6	0,8	15,2	0,2	— 18,0 Febr.	15,8 —	4
Irkuzk	52 16 —	101 58 —	409	— 0,2	— 17,6	4,5	15,9	— 2,2	— 19,5 Jan.	17,5 —	10
Nord-Cap	71 10 —	23 30 —	—	0,1	— 4,6	— 1,3	6,4	— 0,1	— 5,5 —	8,1 —	1
Kasan	55 48 —	46 47 —	58	2,2	— 14,3	2,6	17,0	2,8	— 16,5 —	18,4 —	12
Petersburg	59 56 —	27 59 —	—	3,5	— 8,4	1,7	15,7	4,7	— 10,3 —	16,9 —	25
Moskau	55 45 —	35 18 —	146	3,6	— 10,3	6,3	16,8	1,6	— 10,6 —	17,6 —	25
Reikiavig	64 8 —	24 16 W	—	4,0	— 1,6	2,4	12,0	3,3	— 2,1 Febr.	13,5 —	14
Falun	60 39 —	13 25 O	121	4,4	— 5,5	3,2	14,6	5,3	— 7,4 Jan.	15,8 —	9
Upsala.	59 52 —	15 18 —	—	5,2	— 3,7	3,4	15,1	6,2	— 4,9 —	16,3 —	27
				5,3	. . . . .	. . . . .	. . .	. . .	— 5,0 —	16,8 —	83
Christiania	59 54 —	8 25 —	—	5,4	— 3,8	4,0	15,3	5,8	— 4,8 —	16,5 —	10
Pompey (Nordam.)	42 56 —	78 25 W	390	6,1	— 5,3	5,3	17,7	6,8	— 6,2 —	19,0 —	14
Königsberg	54 43 —	18 10 O	—	6,2	— 3,3	5,3	15,9	6,7	— 4,2 —	17,0 —	24
Halifax	44 39 —	65 57 W	—	6,2	— 4,4	2,9	17,2	9,0	— 5,2 —	19,2 —	2—9
Wilna	54 41 —	22 58 O	117	6,3	— 4,6	5,7	17,6	6,5	— 5,9 —	18,5 —	6
Montreal	45 31 —	75 55 W	. . .	6,5	— 8,1	6,8	20,6	8,4	— 9,7 —	21,7 —	13

Orte.	Breite.	Länge östlich und westlich von Paris.	Höhe über dem Meeresspiegel in Metern.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des Winters.	des Frühjahrs.	des Sommers.	des Herbstes.	des kältesten Monats.	des wärmsten Monats.	Zahl der Beobachtungsjahre.
Leadhills	55° 25′ N	6° 8′ W	390	6,6	0,2	6,4	13,1	6,5	— 0,2 Jan.	14,0 Juli.	10
Fort Snelling	44 53 —	95 28 —	240	6,6	— 9,8	8,2	21,3	7,2	— 11,9 —	22,4 —	5
Tilsit	55 4 —	19 33 O	. . .	6,7	— 3,6	5,9	16,7	7,3	— 5,4 —	17,5 —	20
Neu-Archangelsk	57 3 —	137 38 W	. . .	6,9	0,7	5,2	12,7	8,6	— 0,2 Febr.	13,5 Aug.	3—5
Lund	55 42 —	10 51 O	—	7,2	— 1,4	5,4	16,7	8,3	— 1,9 Jan.	17,4 Juli.	54
Freiberg	50 55 —	11 0 —	403	7,2	— 1,7	7,2	15,9	7,5	— 3,2 —	16,4 —	9
Gotha	50 57 —	8 23 —	308	7,3	— 1,3	7,3	15,5	7,6	— 3,2 —	16,8 —	8
Tabor	49 24 —	12 19 —	429	7,3	— 2,7	7,3	16,9	7,7	— 4,6 —	18,0 —	15
Dunfermlinie	56 5 —	5 46 W	. . .	7,4	2,6	6,1	12,9	7,8	— 2,1 —	13,8 —	20
Warschau	52 13 —	18 42 O	121	7,5	— 2,5	7,0	17,5	8,0	— 4,0 —	18,2 —	26
Danzig	54 21 —	16 18 —	. . .	7,6	— 1,2	6,7	16,4	8,4	— 2,6 —	17,5 —	26
Bern	46 57 —	5 6 —	585	7,8	— 0,9	7,7	15,8	8,5	— 2,8 —	16,6 Aug.	20
Augsburg	48 22 —	8 34 —	493	7,9	— 0,7	8,3	16,6	8,2	— 3,8 —	17,5 Juli.	22
Breslau	51 6 —	14 42 —	140	8,1	— 1,0	7,2	17,3	8,1	— 1,5 —	19,1 —	18
Copenhagen	55 41 —	10 14 —	—	8,2	— 0,4	6,5	17,2	9,3	— 1,4 —	18,2 —	52
Apenrade	55 3 —	7 5 —	—	8,3	0,6	6,9	16,2	9,0	— 0,4 —	16,9 —	16
Fulda	50 34 —	7 24 —	273	8,3	— 2,6	8,1	18,7	8,9	— 3,5 —	19,6 Aug.	11
Kremsmünster	48 3 —	11 48 —	361	8,3	— 1,9	. . . .	17,6	. . .	. . . . .	. . . . .	11
Dresden	51 3 —	11 24 —	121	8,5	— 0,4	8,4	17,2	8,4	— 2,0 —	18,0 Juli.	10
St. Gallen	47 26 —	7 2 —	. . .	(8,5)	0,0	7,7	(17,2)	8,9	— 1,7 —	(19,8) —	10
Edinburg	55 57 —	5 32 W	88	8,6	3,6	7,6	14,4	8,9	2,9 —	15,0 —	17
Hamburg	53 33 —	7 38 O	—	8,6	0,3	8,0	17,0	8,8	— 1,3 —	17,5 —	19
Berlin	52 31 —	11 3 —	39	8,6	— 0,8	8,0	17,3	8,8	— 2,4 —	18,0 —	25
				8,6	— 0,7	8,4	17,6	9,1	— 3,1 —	18,3 —	22
Tübingen	48 31 —	6 43 —	331	8,6	— 0,2	8,6	17,1	8,9	— 2,2 —	17,8 —	13
Manchester	53 29 —	4 35 W	47	8,7	2,8	7,9	14,8	9,2	— 2,1 —	15,2 —	25

Halle	51	31	—	9	37	O	111	8,8		0,0	8,6	17,5	9,1	—	2,3	—	19,2	—	5—10
München	48	9	—	9	14	—	526	8,9	—	0,4	9,0	17,4	9,1	—	1,5	—	18,0	—	32
Salem	42	31	—	73	14	W	—	8,9	—	2,6	7,2	20,6	10,5	—	3,8	—	21,9	—	45
Inſpruck	47	16	—	9	4	O	526	9,0	—	1,9	10,0	18,3	9,6	—	3,8	—	18,4	—	51
Göttingen	51	32	—	7	36	—	132	9,1		0,6	. . . . .	17,6	. . .		. . . . .		. . . . .		%
Albany	42	39	—	76	5	W	39	9,2	—	3,0	8,7	20,9	9,7	—	3,9	Febr.	22,2	—	17
Boſton	42	21	—	73	24	—	. . .	9,3	—	1,6	7,7	20,5	10,4	—	3,3	Jan.	21,8	—	10
Dublin	53	23	—	8	41	—	—	9,5		4,6	8,4	15,3	9,8		4,3	Jan.	16,0	Juli.	13
Münſter	51	58	—	5	18	O	63	9,5		2,2	8,7	16,8	10,1		0,7	—	17,4	—	10
Prag	50	5	—	12	6	—	191	9,5	—	0,4	9,6	18,9	9,8	—	2,4	—	20,2	—	15
Leyden	52	10	—	2	9	—	—	9,7		2,4	8,4	17,2	10,5		1,2	—	17,9	—	19
Genf	46	12	—	3	49	—	396	9,7		1,2	9,5	17,9	10,2	—	0,4	—	18,6	—	40
Council-Bluffs	41	25	—	98	3	W	244	9,7	—	5,2	10,6	23,2	10,3	—	6,9	—	23,9	—	5
Frankfurt a. M.	50	7	—	6	21	O	117	9,8		1,2	9,9	18,3	10,0	—	0,4	—	18,9	—	30
Straßburg	48	35	—	5	25	—	146	9,8		1,1	10,0	18,1	10,0	—	0,4	—	18,8	—	32
Haarlem	52	23	—	2	18	—	—	10,0		2,8	9,2	17,0	11,0		1,0	—	17,7	—	18
Trier	49	46	—	4	18	—	156	10,0		1,9	10,0	17,8	10,1		0,0	—	18,7	—	11
Würzburg	49	48	—	7	36	—	172	10,1		1,6	10,2	18,7	9,7	—	0,9	—	19,6	—	27
Wien	48	13	—	14	3	—	156	10,1		0,2	10,5	20,3	10,5	—	1,6	—	20,7	—	24—14
Brüſſel	50	51	—	2	2	—	58	10,2		2,5	10,1	18,2	10,2		1,2	—	18,8	—	36
Mannheim	49	29	—	6	8	—	92	10,3		1,5	10,4	19,5	9,8		0,9	—	20,2	—	12
London	51	31	—	2	26	W	—	10,4		4,2	9,5	17,1	10,7		3,0	—	17,8	—	40
Paris	48	50	—	0	0	—	64	10,8		3.3	10,3	18,1	11,2		1,8	—	18,9	—	33
Plymouth	50	22	—	6	28	—	—	11,1		6,9	10,1	16,0	11,7		5,9	—	16,6	—	11
Hobarttown	42	45	—	145	15	—	—	11,3		5,6	11,6	17,3	10,9		4,5	—	17,3	—	1
Sebaſtopol (Krimm)	44	36	—	31	12	O	49	11,5		1,8	10,2	21,7	12,6		0,6	—	22,4	—	15
La Rochelle	46	9	—	3	28	W	—	11,6		4,2	10,6	19,4	11,5		2,9	Dec.	20,2	—	11
Baltimore	39	17	—	78	58	—	. . .	11,6		0,4	10,4	23,1	12,9	—	0,6	Jan.	24,0	—	8
Padua	45	24	—	9	32	O	—	12,5		2,8	12,1	21,9	13,0		1,8	—	22,9	—	37
Peking	39	54	—	114	9	—	97	. . . .		1,0	14,8	. . .	. . .	—	2,3	—	. . . . .		1
								12,7?	—	3,2?	13,5	28,1?	12,4	—	4,1?	—	29,1	Juni.	6
Venedig	45	26	—	10	0	—	—	13,7		3,3	12,6	22,8	13,3		1,8	—	23,9	Juli.	19—7
Conſtantinopel	41	0	—	26	39	—	. . .	13,7		4,8	11,0	23,0	15,8		. . . . .		. . . . .		1—3

Orte.	Breite.	Länge östlich und westlich von Paris.	Höhe über dem Meeresspiegel in Metern.	Mittlere Temperatur. des Jahres.	des Winters.	des Frühjahrs.	des Sommers.	des Herbstes.	des kältesten Monats.	des wärmsten Monats.	Zahl der Beobachtungs-Jahre.
Bordeaux	44 50 N	2 55 W	—	13,9	6,1	13,4	21,7	14,4	5,0 Jan.	22,9 Juli.	10
Mafra	38 56 —	11 41 —	228	13,9	9,6	12,7	18,2	15,1	9,2 —	19,7 —	4
Marseille	43 18 —	3 2 O	45	14,1	6,9	12,9	21,4	14,7	5,2 —	22,8 —	16—10
Madrid	40 25 —	6 2 W	663	14,2	5,6	14,2	23,4	13,7	. . . . .	. . . . .	2—3
Avignon	43 57 —	2 28 O	—	14,4	5,8	13,9	23,1	14,6	4,8 —	23,8 Aug.	25
Santa-Fe-de-Bogota	4 36 —	76 34 W	2631	15,0	15,1	15,3	15,3	14,5	14,0 Juli.	16,1 —	1—2
Florenz	43 47 —	8 55 O	64	15,3	6,8	14,7	24,0	15,7	5,3 Jan.	25,2 Juli.	12
Rom	41 54 —	10 8 —	53	15,4	8,1	14,1	22,9	16,5	7,2 —	23,9 —	30
Quito	0 14 S	81 5 W	2914	15,6	15,4	15,7	15,6	17,5	14,8 Juli.	16,3 März.	2—3
Neapel	40 51 N	11 55 O	55	16,7	9,9	15,6	23,9	17,3	9,0 Jan.	25,0 Aug.	8
				16,4	9,8	15,2	23,6	16,8	9,2 —	24,5 —	18
Lissabon	38 42 —	11 29 W	72	16,4	11,3	15,5	21,7	17,0	11,2 —	22,3 Juli.	5
Merico	19 26 —	101 26 —	2271	16,6	13,0	18,1	19,1	16,2	12,3 —	19,7 Jun.	2
Buenos-Ayres	34 37 —	60 44 —	—	16,9	11,4	15,2	22,8	18,1	11,0 —	23,8 Aug.	1—4
Palermo	38 7 —	11 1 O	55	17,2	11,4	15,0	23,5	19,0	10,7 Febr.	24,6 —	39
Algier	36 47 —	0 43 W	—	17,8	12,4	17,2	23,6	21,4	(14,5) März	24,7 —	4
Gibraltar	36 7 —	7 41 —	. . .	17,9	13,8	17,3	22,7	17,8	13,7 Febr.	23,5 Juli.	2
Canea	35 29 —	21 40 O	. . .	18,0	12,4	15,6	25,2	18,9	11,9 Jan.	27,5 Aug.	1—2
Smyrna	38 26 —	24 48 —	. . .	18,2	11,1	14,6	26,0	21,1	. . . . .	. . . . .	1
Funchal	32 38 —	19 15 W	—	18,7	16,3	17,5	21,1	19,8	15,7 —	23,3 —	6
Cap der guten Hoffnung	33 55 S	16 8 O	—	19,1	14,8	18,6	23,4	19,4	14,3 Aug.	24,1 Jan.	7—11
Montevideo	34 54 —	58 33 W	. . .	19,3	14,1	18,1	25,2	20,0	13,3 Juli.	26,7 Dec.	1
Tunis	36 48 N	7 51 O	—	20,3	13,2	18,3	28,3	21,9	11,7 Jan.	30,3 Aug.	3—4
Canton	23 8 —	110 56 —	—	21,0	12,7	21,0	27,8	22,7	11,4 —	28,3 Juli.	10
				21,6	13,7	21,8	28,2	22,5	13,3 —	28,5 Juni.	3

Las-Palmas (Canarische Inseln)	28	0	—	17	51	W	—	21,8	18,0	19,4	23,8	26,2	17,8	—	29,2	Oct.	12
Caracas	10	31	—	69	25	—	887	22,0	20,9	21,8	23,4	22,2	20,0	Febr.	24,0	Juli.	1—2
Macao	22	11	—	111	14	O	—	22,5	16,4	21,1	28,3	24,1	14,5	—	28,6	—	2—5
Candy	7	18	—	78	30	—	513	22,7	22,3	23,5	22,8	22,4	21,8	Jan.	24,2	Mai.	5—6
Rio-Janeiro	22	55	S	45	36	W	. . .	23,1	20,3	22,5	26,1	23,6	19,6	Juli.	26,7	Jan.	7—9
St. Louis (Senegal)	16	1	N	18	53	—	—	24,6	21,1	21,4	27,6	28,2	19,9	Febr.	30,8	Sept.	1
Delta des Indus	24	44	—	65	57	O	. . .	. . . .	17,8	. . . . .	. . .	. . .	17,2	Febr.	. . . . .		1
Havanna	23	9	—	84	43	W	—	25,0	22,6	24,6	27,4	25,6	21,9	Jan.	27,5	Aug.	8
Vera-Cruz	19	12	—	98	29	—	—	25,0	21,5	25,0	27,5	26,0	21,2	—	27,8	Mai.	13
Seringapatam	12	45	—	74	21	O	735	25,1	22,9	28,5	24,5	24,4	21,6	—	29,4	—	2
Benares	25	19	—	80	35	—	97	25,4	16,3	30,0	29,6	24,1	15,2	Dec.	33,4	—	4
Calcutta	22	35	—	86	0	—	—	28,5	19,9	28,1	28,5	26,1	18,4	Jan.	29,9	—	17—8
Bombay	18	56	—	70	34	—	—	26,0	23,2	27,2	28,1	27,3	22,4	—	29,3	—	2
Jamaika	17	50	—	79	2	W	. . .	26,1	24,6	25,7	27,4	26,6	24,4	—	27,7	Juli.	5
Paramaribo	5	45	—	57	33	—	. . .	26,5	25,9	26,3	26,9	28,2	25,6	Febr.	28,6	Sept.	1—3
Singapore	1	17	—	101	30	O	. . .	26,5	25,9	26,9	27,1	26,7	25,6	Jan.	27,4	Juni.	6
Batavia	6	9	S	104	33	—	—	26,8	26,2	26,8	27,2	27,1	25,9	Juni.	27,8	Jan.	1
Cumana	10	28	—	66	30	W	—	27,4	27,0	28,6	28,1	. . .	26,9	Jan.	29,2	Mai.	1
Küste von Guinea	5	30	—	2	0	—	—	27,4	28,1	28,3	26,4	27,0	25,6	Febr.	28,8	Febr.	1—2
Madras	13	5	—	77	57	O	—	27,8	24,8	28,6	30,2	27,5	24,1	Jan.	31,3	Juni.	25
Kouka	13	10	—	12	10	—	351	28,2	23,8	32,6	29,0	27,2	20,6	Dec.	33,7	Apr.	1—2
Massowa (Abyssinien	15	36	—	37	9	—	—	(31,0)	26,7	29,5	. . .	32,0	25,5	Jan.	(33,8)	Spt.	1

Die mittleren Temperaturen des heißeſten und des kälteſten Monats geben uns durchaus noch nicht die Gränzen an, zwiſchen welchen an einem Orte das Thermometer ſchwanken kann, denn es ſind ja ſelbſt nur Mittelzahlen; dann aber ſchwankt ja auch, wie wir oben geſehen haben, die mittlere Temperatur eines und deſſelben Monats von einem Jahre zum andern oft ſehr bedeutend. So kommt es denn auch, daß ſelbſt in Gegenden, die ſich ſonſt eines warmen Klimas und eines milden Winters erfreuen, manchmal eine ganz außerordentliche Kälte eintritt; ſo war z. B. im Jahre 1507 der Hafen von Marſeille in ſeiner ganzen Ausdehnung zugefroren, wozu wenigſtens eine Kälte von — 18° erforderlich war; im Jahre 1658 zog Karl X. mit ſeinem ganzen Heere ſammt dem ſchweren Geſchütze über den kleinen Belt. Im Jahre 1709 war der Meerbuſen von Venedig und die Häfen von Marſeille, Genua und Cette zugefroren, und 1789 fiel das Thermometer zu Marſeille auf — 27°. Die folgende Tabelle giebt die höchſten und niedrigſten Temperaturen an, welche an verſchiedenen Orten beobachtet worden ſind.

	Minimum	Maximum	Differenz
Surinam	21,3°	32,3°	11,0°
Pondicheri	21,6	44,7	23,1
Esna (Aegypten)		47,4	
Cairo	9,1	40,2	31,1
Rom	— 5,9	38,0	43,9
Paris	— 23,1	38,4	61,5
Prag	— 27,5	35,4	62,9
Moskau	— 38,8	32,0	70,8
Fort Reliance (Nordamerika)	— 56,7.		

Bedeutendere Abweichungen von dem normalen jährlichen Gange der Wärme treten nicht local auf, ſondern ſie ſind über größere Strecken verbreitet; ſo war z. B. der Winter von 1821 auf 1822 in Europa ſehr gelind, im December 1822 aber herrſchte im ganzen weſtlichen Europa eine ſtrenge Kälte; niemals iſt jedoch eine gleichnamige bedeutende Abweichung über eine ganze Hemiſphäre verbreitet. In der Regel iſt die nördliche Halbkugel in der Richtung von Norden nach Süden in zwei Hälften getheilt, auf welchen entgegengeſetzte Abweichungen von der normalen Temperatur beobachtet werden; ungefähr in der Mitte dieſer beiden Hälften ſind die Abweichungen am größten, da, wo ſie aneinander ſtoßen, herrſcht eine mittlere Temperatur. So war der Februar 1828 in Kaſan und Irkutzk ſehr kalt, in Nordamerika ungewöhnlich gelind, Europa aber lag indifferent zwiſchen dieſen entgegengeſetzten Abweichungen. Im December 1829 fiel das Maximum der Kälte nach Berlin, in Kaſan war dieſe Kälte noch ſehr

merklich; in Nordamerika aber herrschte ein ungewöhnlich gelindes Wetter, dagegen war die Kälte des Decembers 1831 auf Amerika beschränkt.

Meistens herrschen in Europa und Asien dieselben, in Amerika aber die entgegengesetzten Abweichungen vom mittleren Gange der Wärme.

Manchmal, jedoch seltener, läuft die Gränzlinie entgegengesetzter Abweichungen von Osten nach Westen.

Eine Abweichung von der mittleren Temperatur dauert oft längere Zeit hindurch in demselben Sinne fort. Vom Juni 1815 bis zum Deeember 1816 herrschte in Europa eine ungewöhnlich niedrige Temperatur, was auch die Mißernte von 1816 zur Folge hatte; das Jahr 1822 war bekanntlich ein ausgezeichnetes Weinjahr; die ungewöhnliche Wärme dauerte damals vom November 1821 bis zum November 1822.

Daraus folgt nun auch, daß die Meinung, als ob auf einen kalten Winter ein heißer Sommer, auf einen warmen Winter aber ein kühler Sommer folgen müsse, ganz irrig ist, indem häufig das Gegentheil stattfindet, wie man schon aus den beiden eben angeführten Beispielen sieht; so folgte ja auch der heiße Sommer 1834 auf einen sehr gelinden Winter.

Die Abweichungen von dem mittleren Gange der Wärme sind im Winter meist auffallender als im Sommer.

Sonach ist es höchst wahrscheinlich, daß stets dasselbe Wärmequantum, nur ungleich, auf der Erdoberfläche vertheilt sey. Ein kalter Winter ist die Folge eines längere Zeit vorherrschenden Nordostwindes, ein kühler Sommer aber die Folge vorherrschender Südwestwinde; diese sich abwechselnd verdrängenden Luftströmungen sind, wie Dove gezeigt hat, das Bedingende unserer Witterungsverhältnisse. Wenn auf einen kalten Winter ein heißer Sommer folgen sollte, so müßte ein ganzes Jahr hindurch der Nordost-, wenn aber auf einen milden Winter ein kühler Sommer folgen soll, so müßte ein ganzes Jahr hindurch der Südwestwind vorherrschen.

Isothermische Linien. Eine Tabelle wie die, welche auf Seite 471 bis 475 steht, enthält eine Masse von Elementen, aus welchen man die Verbreitung der Wärme auf der Erdoberfläche ableiten kann. Jedenfalls sieht man aus einer solchen Tabelle schon, daß nicht alle auf demselben Breitengrade liegenden Orte gleiche mittlere Temperatur haben. So ist z. B. die mittlere Jahreswärme am Nordcap — 0,1°, während Nain auf der Küste Labrador eine mittlere Jahreswärme von — 3,6° hat, obgleich Labrador 14° südlicher liegt als das Nordcap. Eine klare Uebersicht über die Vertheilung der Wärme auf der Erde hat zuerst Humboldt durch seine isothermischen Linien möglich gemacht, durch welche er alle solche Orte derselben Hemisphäre verband, welche gleiche mittlere Jahreswärme haben. Seine Abhandlung über die Isothermen und die Vertheil- 183

lung der Wärme auf der Erde erschien im Jahre 1817 im 3. Bande der Memoires de la societé d'Arcueil.

Denken wir uns z. B., daß ein Reisender, von Paris ausgehend, eine Reise um die Erde in der Weise macht, daß er alle Orte der nördlichen Halbkugel besucht, welche dieselbe mittlere Jahreswärme haben wie Paris, nämlich 10,8°, so wird der Weg, den er auf diese Weise zurücklegt, eine Linie gleicher mittlerer Jahreswärme, also eine isotherme Linie seyn; diese Linie fällt aber nicht mit dem Breitengrade von Paris zusammen, sie ist unregelmäßig und gekrümmt, d. h. sie geht durch Orte, welche eine ganz andere Breite haben als Paris.

Humboldt's Abhandlung enthält eine Tabelle von 60 Orten, für welche die mittlere Temperatur durch wenigstens 8000 Beobachtungen ermittelt worden war, und nach diesen legte er seine Isothermen. Seit den letzten 20 Jahren sind nun durch zahlreiche Beobachtungen die klimatischen Verhältnisse vieler Orte genauer ermittelt worden, ohne daß dadurch der Typus der großen Krümmungen der Isothermen, wie sie Humboldt damals bestimmt hatte, wesentlich verändert worden wäre.

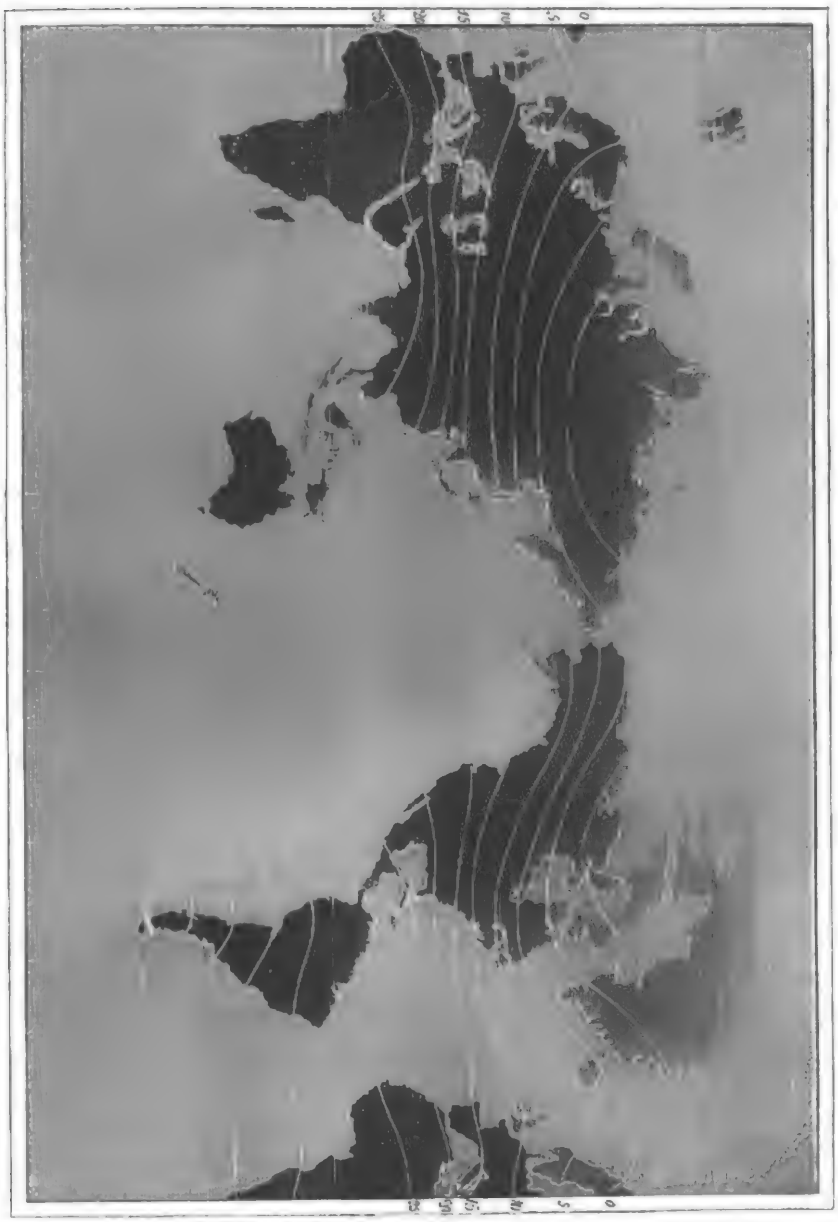
Fig. 386 stellt die Erdoberfläche in Merkators-Proportion mit den Isothermen von 5 zu 5 Grad dar. Am Erdäquator ist die mittlere Temperatur der Meeresufer 27,5°; auf der Westseite von Amerika und Afrika jedoch etwas geringer; im Innern der beiden Continente, besonders in Afrika, ist die mittlere Temperatur höher als an den Küsten, im Innern von Afrika steigt die mittlere Temperatur des Aequators über 29°.

Der Wärmeäquator, d. h. die Linie, welche man erhält, wenn man die heißesten Punkte der verschiedenen Meridiane mit einander verbindet, fällt nicht mit dem Erdäquator zusammen; die Gegenden, welche gerade unter dem Aequator liegen, sind also nicht immer die heißesten. Obgleich es gewiß zu seyn scheint, daß der Wärmeäquator größtentheils auf der nördlichen Halbkugel liegt, so fehlt es doch noch an zuverlässigen Beobachtungen, um seinen Lauf näher zu bezeichnen.

Die nördliche Isotherme von 25° geht durch Verakruz, berührt die Südspitze von Florida, steigt dann noch etwas nach Norden, um sich nach der Westküste von Afrika zu senken; dann steigt sie wieder nach Norden, geht durch den nördlichen Theil des rothen Meeres und durch den persischen Meerbusen hindurch u. s. w.

Die Anschauung der Karte Fig. 386 erspart uns eine weitere Beschreibung des Laufes der Isothermen. Man sieht, daß ihre Krümmungen in der nördlichen Halbkugel um so bedeutender werden, je weiter man sich vom Aequator entfernt; die Isotherme von 0° z. B. steigt von dem südlichen Ende der Küste von Labrador über Island nach dem Nordcap, um sich im Innern von Asien wieder bedeutend zu senken.

Fig. 386.



Da, wo ſich die Iſothermen am weiteſten nach Süden herabſenken, bilden ſie einen concaven, da, wo ſie am höchſten nach Norden ſteigen, bilden ſie einen convexen Gipfel. Die ſüdlichen Wendepunkte der Iſothermen liegen im öſtlichen Nordamerika und im Innern von Aſien, die nördlichen Wendepunkte dagegen liegen an den Weſtküſten von Europa und Amerika.

Brewſter hat es ſehr wahrſcheinlich gemacht, daß der Nordpol nicht der kälteſte Ort der nördlichen Hemiſphäre iſt, ſondern daß die Iſothermen in der Nähe des Pols zwei getrennte geſchloſſene Kurven bilden, deren Mittelpunkte er Kältepole nennt. In der That deutet auch der Lauf der Iſothermen von — 15° darauf hin; in einer nach der Polarproportion gezeichneten Karte würde die Lage der Kältepole noch deutlicher vortreten. Der eine Kältepol liegt über dem aſiatiſchen, der andere über dem nordamerikaniſchen Continente; daher denn auch die Senkung der Iſothermen in Nordamerika und Sibirien.

Mit der Entfernung vom Aequator nach dem Nordpole hin iſt die Wärmeabnahme durchaus nicht der zunehmenden geographiſchen Breite proportional, wie man leicht aus folgender Zuſammenſtellung erſieht.

Zunahme der nördlichen Breite	Entſprechende Temperaturabnahme in der alten Welt	in der neuen Welt
0 bis 20°	2°	2°
20 » 30	4	6
30 » 40	4	7
40 » 50	7	9
50 » 60	5,5	7,4
von 0 bis 60°	22,5°	31,4°

»In beiden Welten,« ſagt Humboldt, »liegt die Zone, in welcher die mittlere Temperatur am ſchnellſten abnimmt, zwiſchen den Parallelen von 40° und 45°. Dieſer Umſtand muß einen günſtigen Einfluß auf die Bildung und den Kunſtfleiß der Völker haben, welche in der Nähe dieſes Gürtels wohnen. Es iſt dies der Punkt, wo die Regionen des Weinſtocks an die des Oliven- und Citronenbaums gränzen. Nirgends anders auf der Erde findet man von Süden nach Norden eine merklichere Abnahme der Temperaturen, nirgends folgen die Erzeugniſſe des Pflanzenreichs und die mannigfaltigen Gegenſtände des Ackerbaues ſchneller auf einander. Die große Verſchiedenheit in den Erzeugniſſen der Gränzländer belebt den Handel und vermehrt den Gewerbfleiß der ackerbauenden Völker.«

Die Temperaturverhältniſſe der ſüdlichen Hemiſphäre ſind uns bei weitem nicht ſo vollſtändig bekannt wie die der nördlichen, doch iſt es wohl als

ausgemacht zu betrachten, daß die südliche Halbkugel kälter ist als die nördliche; dieser Unterschied möchte aber wohl geringer seyn, als man vielfach anzunehmen geneigt ist. Was vielleicht dazu beigetragen hat, die südliche Halbkugel für so bedeutend kälter zu halten als die nördliche, ist wohl der Umstand, daß man die Temperaturverhältnisse der südlichsten Theile von Amerika mit den Temperaturverhältnissen gleicher nördlicher Breiten in Europa verglichen hat, wo ja die Isothermen so außerordentlich weit nach Norden in die Höhe steigen; die Sache stellt sich ganz anders, wenn man die Gegenden von Südamerika mit solchen vergleicht, welche gleich weit vom Aequator an der Ostküste von Nordamerika liegen.

Die Nachrichten verschiedener Reisenden über dieselben Gegenden widersprechen sich oft geradezu, ein Beweis, wie sehr man sich hüten muß, aus vereinzelten Beobachtungen und Angaben einen Schluß auf die klimatischen Verhältnisse eines Landes zu machen. Cook konnte auf seiner zweiten Reise kaum den südlichen Polarkreis passiren, während später Weddel das Meer bis zum 74° frei fand. Dumont-Durville wurde bei seinen zweimaligen Versuchen, gegen den Südpol vorzudringen, am Polarkreise aufgehalten, James Roß hingegen fand bis 78° s. B. schiffbares Meer. Nach Forster sind die Berge an den Küsten von Neugeorgien (ungefähr 28° östlich vom Feuerlande) bis an das Meer mit Schnee bedeckt, nur an wenigen der Sonne ausgesetzten Stellen war der Boden frei, während Weddel, welcher die Insel später besuchte, Gras von 6 Decimeter Höhe fand. Ebenso weichen die Schilderungen des Feuerlandes ab; Bancks fand hier Birken (betula antarctica) von 9 bis 10 Meter Höhe und 6 bis 9 Decimeter Umfang. Bei Port Famine (mittlere Temp. 5°) sind die Küsten der Magellanstraße mit herrlichen Wäldern von fagus antarctica bedeckt, die von Papagayen bewohnt sind. Ein Beweis, daß die Winter in diesen Gegenden nicht sehr kalt seyn können, ist, daß die Eingeborenen ganz nackt gehen.

Das Klima der südlichen Spitze von Amerika ist ein solches, welches wir alsbald unter dem Namen des Seeklimas werden kennen lernen, d. h. der Sommer bleibt kühl, der Winter wird aber auch nicht streng; es ist dies leicht begreiflich, wenn man bedenkt, wie weit das nach Süden schmal zulaufende Südamerika in die ungeheure Wassermasse hineinragt.

Die Isothermen nähern sich an den Westküsten von Südamerika dem Aequator weit mehr als auf den Ostküsten, die Westküsten sind also verhältnißmäßig kälter; dies rührt von einer kalten Meeresströmung her, welche an den Westküsten von Südamerika her nach Norden zieht.

Daß die südliche Halbkugel etwas kälter ist als die nördliche, rührt wohl daher, daß auf der nördlichen das Land, auf der südlichen hingegen das Meer vorherrscht. Das feste Land erwärmt sich durch die Absorption der

Sonnenstrahlen weit mehr als das Meer, welches einen großen Theil dieser Strahlen reflectirt.

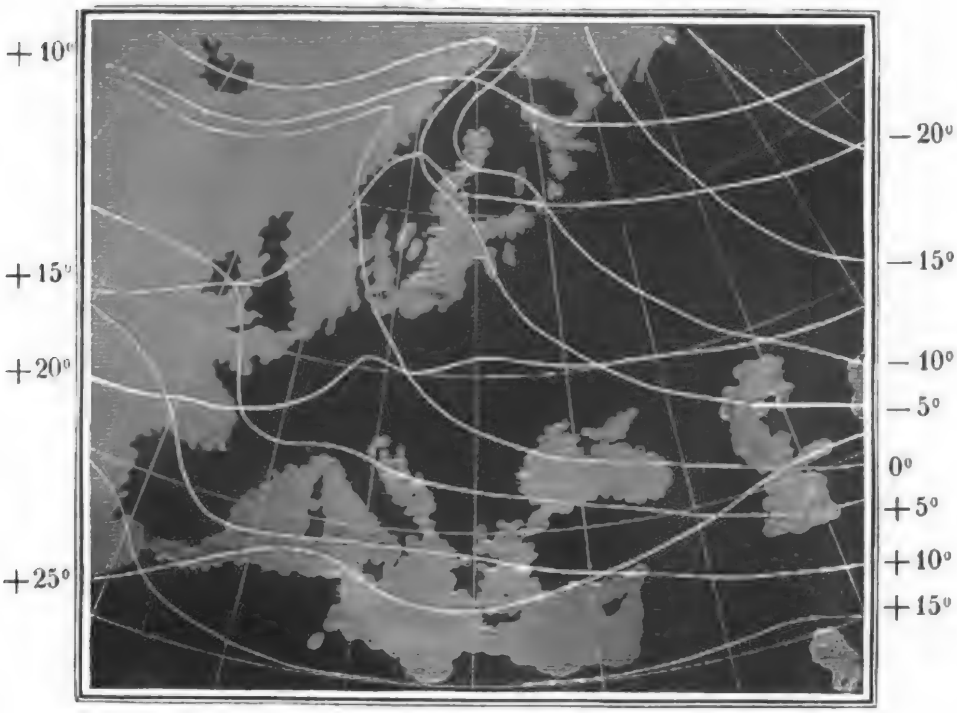
184 **Isotheren und Isochimenen.** Daß nicht alle Orte, welche auf demselben Parallelkreise liegen, gleiches Klima haben, ist bereits angeführt worden, es fragt sich aber nun, ob denn alle Orte, welche auf derselben Isotherme liegen, alle Orte also, für welche die mittlere Jahreswärme gleich ist, auch sonst gleiche klimatische Verhältnisse haben. Man braucht nur die Tabelle auf Seite 471 bis 475 anzusehen, um sich zu überzeugen, daß dies nicht der Fall ist. So haben z. B. Edinburg und Tübingen gleiche mittlere Jahreswärme von 8,6°, in Edinburg ist aber die mittlere Temperatur des Winters 3,6°, in Tübingen 0,2; Tübingen hat also einen weit kälteren Winter als Edinburg, dagegen ist die mittlere Sommertemperatur für Tübingen 17,1, für Edinburg nur 14,4°. Bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur hat also Edinburg einen gelinderen Winter und einen kühleren Sommer als Tübingen. Ein ähnliches Verhältniß findet zwischen Prag und Dublin Statt; beide Orte haben eine gleiche mittlere Jahrestemperatur von 9,5°. Für Dublin ist aber die mittlere Temperatur des kältesten Monats 4,3, für Prag ist sie — 2,4°; dagegen ist die mittlere Temperatur des heißesten Monats für Dublin nur 16, für Prag aber 20,2°.

Um die Wärmeverhältnisse eines Landes zu kennen, reicht es also nicht hin, daß man weiß, welches seine mittlere Jahrestemperatur ist, man muß auch wissen, wie die Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten vertheilt ist. Diese Vertheilung kann man auf einer Isothermenkarte dadurch zeigen, daß man nach Humboldt's Beispiele an den verschiedenen Stellen einer und derselben Isotherme die mittlere Sommer- und Wintertemperatur beischreibt, was in unserer Isothermenkarte wegen ihrer Kleinheit nicht möglich war; man sieht alsdann bald, daß gerade in der Nähe der convexen Gipfel der Isothermen auch die Differenzen zwischen der mittleren Sommer- und Wintertemperatur am geringsten sind; dieselben Ursachen also, welche machen, daß die Isothermen an den Westküsten von Europa und Amerika so hoch nach Norden steigen, machen auch die Differenz zwischen der Sommer- und Wintertemperatur geringer. Eine sehr gute Uebersicht in Beziehung auf die Vertheilung der Wärme zwischen Winter und Sommer gewährt eine Karte, in welcher man alle Orte durch Kurven verbindet, welche gleiche mittlere Wintertemperatur, und diejenigen, welche gleiche mittlere Sommertemperatur haben. Die Linien gleicher mittlerer Wintertemperatur heißen Isochimenen, die Linien gleicher mittlerer Sommertemperatur heißen Isotheren. Fig. 387 (a. f. S.) stellt ein Kärtchen von Europa mit den Isotheren und den Isochimenen von 5 zu 5 Grad dar.

Diejenigen Kurven, deren entsprechende Temperaturen an der rechten

Seite der Karte ſtehen, ſind die Iſochimenen, die anderen ſind die Iſotheren. Man überſieht aus dieſer Karte leicht, daß die Weſtküſte des ſüdlichen Theiles von Norwegen, Dänemark, ein Theil von Böhmen

Fig. 387.



und Ungarn, Siebenbürgen, Beſſarabien und die Südſpitze der Halbinſel Krim gleiche mittlere Wintertemperatur von 0° haben. Böhmen hat aber einen gleichen Sommer mit dem Ausfluſſe der Garonne, und in der Krim iſt der Sommer noch weit wärmer. Dublin hat gleiche mittlere Wintertemperatur, nämlich 5°, mit Nantes, Oberitalien und Conſtantinopel und gleiche mittlere Sommerwärme mit Drontheim und Finnland.

Die Iſothere von 20° geht von dem Ausfluſſe der Garonne ungefähr über Straßburg und Würzburg nach Böhmen, der Ukraine, dem Lande der Doniſchen Koſacken und geht etwas nördlich vom Caſpiſchen Meere vorbei; wie ungleich iſt aber die mittlere Wintertemperatur an verſchiedenen Orten dieſer Iſothere! An der Weſtküſte von Frankreich iſt ſie 5°, in Böhmen 0°, in der Ukraine — 5° und etwas nördlich vom Caſpiſchen Meere gar — 10°.

Urſachen der Inflexion der Iſothermen. Obgleich wir im Stande 185
ſind, im Allgemeinen die Urſachen anzugeben, welche die Abweichung der Iſothermen an den Parallelkreiſen bedingen, ſo kennen wir doch die hier

mitwirkenden störenden Elemente viel zu wenig, um die Gestalt der Isothermen aus theoretischen Betrachtungen abzuleiten.

Die ungleiche Vertheilung von Land und Wasser auf unserer Erdoberfläche veranlaßt eine ungleiche Erwärmung an verschiedenen Stellen, sie bedingt großentheils die Richtung der Luft- und Meerströmungen, durch welche entweder die höhere Temperatur der Tropen nach den Polen hin oder umgekehrt die Kälte der Polarmeere dem Aequator genähert wird; die Wirkung, welche die Sonnenstrahlen an irgend einem Orte der Erde hervorzubringen im Stande ist, hängt von der Configuration des Landes, von der Beschaffenheit des Bodens ab, sie wird durch die Richtung der herrschenden Winde, durch Gebirgszüge modificirt, die klimatischen Verhältnisse einer Gegend sind also das Resultat mannigfacher Ursachen, welche sich theils combiniren, theils gegenseitig modificiren, und welche bald mehr allgemeiner, bald mehr localer Natur sind, welche bald direct, bald indirect wirken. »Die physische Geographie,« sagt Humboldt, »hat ihre numerischen Elemente, wie das Weltsystem, und wir werden in der Kenntniß dieser Elemente in dem Maaße fortschreiten, als wir die Thatsachen besser benutzen lernen, um in ihnen die allgemeinen Gesetze mitten in dem Zusammenwirken der partiellen Störungen zu erkennen.«

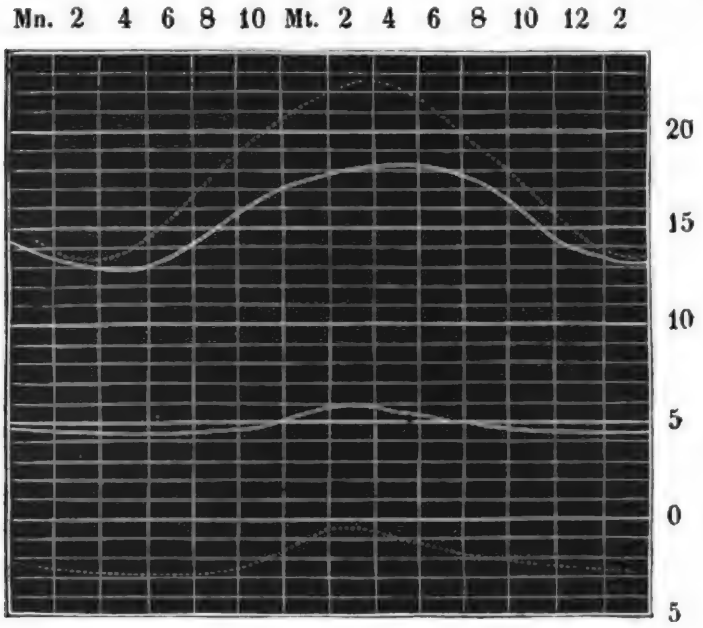
Ganz abgesehen davon, daß die ungleiche Vertheilung von Land und Wasser auf unserer Erdoberfläche die Richtung der Luft- und Meerströmungen modificirt, bewirkt sie auch direct eine ungleiche Wärmevertheilung, weil das feste Land, die Wärmestrahlen leichter absorbirend und ausstrahlend, sich schneller erwärmt und leichter wieder erkaltet als das Meer, welches, überall von gleichförmiger Natur, wegen seiner Durchsichtigkeit, wegen der bedeutenden specifischen Wärme des Wassers nicht so schnell erwärmt wird, die einmal erlangte Wärme aber auch nicht so schnell abgiebt. Die Temperatur der Meeresoberfläche ist deshalb weit gleichförmiger, sowohl die täglichen als auch die jährlichen Temperaturschwankungen sind ungleich geringer als in der Mitte der großen Continente, und dadurch ist gerade der schon oben erwähnte Unterschied zwischen Land- und Seeklima bedingt, welcher dadurch größer wird, daß an den Küsten der nördlich gelegenen Länder der Himmel meistens bedeckt ist, was sowohl den wärmenden Einfluß der Sonnenstrahlen im Sommer mäßigt, als auch die starke Erkaltung des Bodens durch Wärmestrahlung im Winter hindert.

Inseln, welche mitten in einem großen Meere liegen, die Küsten und namentlich Halbinseln werden das weniger veränderliche Seeklima theilen, während die Unterschiede zwischen Sommer- und Wintertemperatur um so größer sind, je weiter man sich von den Küsten entfernt. Schon in der vorigen Nummer wurden Beispiele angeführt, welche zeigen, wie bei gleicher mittlerer Jahreswärme die Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen

Jahreszeiten oft sehr ungleich ist; wie an Orten, welche sich eines Küstenklimas erfreuen, die Temperaturschwankungen weit geringer sind als für solche Orte, welche mitten im Lande liegen.

Die Fig. 388 zeigt nicht allein, wie die täglichen Variationen des Ther-

Fig. 388.



mometers für Leith (Seeklima) geringer sind als für Halle (Continentalklima), sondern auch, daß die Temperaturen des heißesten und kältesten Monats für Leith näher beisammenliegen als für Halle.

Noch weit größere Unterschiede zwischen Land- und Seeklima ergeben sich, wenn man die Temperaturverhältnisse der Westküsten von Europa mit denen des nördlichen Asiens vergleicht. Um das Verhältniß der mittleren Jahreswärme zu der Vertheilung der Wärme leicht übersehen zu können, ist in den folgenden der Tabelle Seite 471 entnommenen Beispielen die mittlere Jahreswärme vor, die mittlere Sommertemperatur über, die mittlere Wintertemperatur unter einen Horizontalstrich gesetzt.

Küstenklima:		Continentalklima:	
Nordcap . . .	$0{,}1\ \frac{6{,}4}{-4{,}6}$	Jakuzk . . .	$-9{,}7\ \frac{17{,}2}{-38{,}9}$
Reikiavig . . .	$4{,}0\ \frac{12{,}0}{-1{,}6}$	Irkuzk . . .	$-0{,}2\ \frac{15{,}9}{-17{,}6}$
		Moskau . .	$3{,}6\ \frac{16{,}8}{-10{,}3}$

Das Klima der Weſtküſten von Europa iſt ein beſtändiges, das Klima des öſtlichen Europa's und des nördlichen Aſiens dagegen iſt ein exceſſives, wie es Buffon nennt.

Welchen Einfluß ſolche klimatiſchen Verſchiedenheiten auf die Vegetation ausüben müſſen, iſt klar. An mehreren Orten Sibiriens, in Jakuzk z. B., wo die mittlere Jahrestemperatur — 9,7° iſt, die mittlere Wintertemperatur aber — 38,9° beträgt, wird während des kurzen, aber heißen Sommers Weizen und Roggen auf einem Boden gebaut, welcher in einer Tiefe von 3 Fuß beſtändig gefroren bleibt, während auf der Inſel Island, bei ungleich höherer Jahrestemperatur und bei einer unbedeutenden Winterkälte an den Bau von Cerealien nicht mehr zu denken iſt, weil die niedrige Sommertemperatur nicht hinreicht, ſie zur Reife zu bringen.

Im nordöſtlichen Irland, wo im Winter kaum Eis friert, in gleicher Breite mit Königsberg, gedeiht die Myrthe ſo kräftig wie in Portugal, auf den Küſten von Devonſhire überwintert die camellia japonica und die Fuchsia coccinea im Freien; der Winter iſt in Plymouth nicht kälter als in Florenz und Montpellier; der Weinbau gedeiht aber nicht in England, weil die Rebe wohl eine ziemlich ſtarke Winterkälte vertragen kann, aber eines heißen Sommers bedarf, wenn die Trauben reifen und einen trinkbaren Wein liefern ſollen. In Aſtrachan, welches mit dem Nordcap gleiche Winterkälte hat, reifen die herrlichſten Trauben. Ungarn bringt ausgezeichneten Wein hervor, obgleich ſeine Winter kälter ſind als im nördlichſten Schottlande, wo kein Obſtbaum mehr gedeiht, ja ſelbſt kälter als auf den Faroerinſeln, wo auch die Buche und die Eiche nicht mehr fortkommt.

Ueberall, wo die mittlere Jahreswärme unter 17° iſt, findet das Erwachen der Natur im Frühlinge in demjenigen Monate Statt, deſſen mittlere Temperatur 6 bis 8° beträgt. Der Pfirſichbaum blüht, wenn die mittlere Temperatur eines Monats 5,5°, der Pflaumenbaum, wenn ſie 8,2° erreicht. Die Birke ſchlägt bei einer mittleren Monatstemperatur von 11° aus; in Rom findet dies im März, in Paris anfangs Mai, in Upſala in der Mitte Juni Statt; auf dem Nordcap kommt die Birke nicht mehr fort, weil die mittlere Temperatur des heißeſten Monats nur 8,1° beträgt.

Der mildernde Einfluß des Meeres wird auf ein Land verhältnißmäßig zu ſeiner Oberfläche um ſo bedeutender ſeyn, je größer der meerumſpülte Umfang deſſelben iſt. Je zerriſſener die Küſten eines Landes ſind, d. h. je mehr Halbinſeln in das Meer, und je tiefer bedeutende Meerbuſen in das Land hineinragen, deſto gleichmäßiger wird ſein Klima ſeyn. Europa verdankt ſeine vortheilhaften klimatiſchen Verhältniſſe großentheils ſeiner eigenthümlichen Configuration.

Der eben beſprochene Einfluß des Meeres iſt mehr localer Natur, er bewirkt eine gleichmäßigere Vertheilung der Wärme auf die verſchiedenen

Jahreszeiten, er trägt aber weniger zur Erhöhung oder Erniedrigung der mittleren Jahrestemperatur bei. Die Krümmung der Isothermen ist nicht eine directe, sondern eine secundäre Wirkung der ungleichen Vertheilung von Wasser und Land, insofern dadurch die Luft- und Meeresströmungen modificirt werden.

In der nördlichen gemäßigten Zone sind die Südwest- und die Nordostwinde die vorherrschenden. Der Südwestwind kommt aus den Aequatorialgegenden und führt die Wärme der Tropen zum Theil nach den kälteren Ländern; dieser erwärmende Einfluß der Südwestwinde wird aber in solchen Ländern vorzugsweise merklich werden, welche der südwestlichen Luftströmung am meisten ausgesetzt sind, und somit erklärt sich, daß die Westküsten der großen Continente wärmer sind als die Ostküsten, daß die Isothermen in Europa, welches eigentlich nur eine halbinselförmige Verlängerung des asiatischen Continents ist, und an den Westküsten von Nordamerika weiter nach Norden steigen als im Innern von Asien und an den Ostküsten von Nordamerika.

Ein zweiter Umstand, welchem Europa sein verhältnißmäßig warmes Klima verdankt, ist der, daß sich im Süden von Europa, in der Aequatorialzone, nicht ein Meer, sondern ein ausgebreitetes Land, nämlich Afrika, befindet, dessen großentheils kahler und sandiger Boden unter dem Einflusse der senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen außerordentlich heiß wird. Ein warmer Luftstrom steigt beständig von den glühendheißen Sandwüsten in die Höhe, um sich dann in Europa wieder herabzusenken.

Endlich trägt eine unter dem Namen des Golfstroms bekannte Meeresströmung sehr zur Milderung des europäischen Klimas bei. Der Ursprung dieses Stroms ist im mexicanischen Meerbusen zu suchen, wo das Meerwasser bis zu einer Temperatur von 31° erwärmt wird. Zwischen Cuba und Florida aus dem mexicanischen Meerbusen heraustretend, folgt der Strom anfangs den amerikanischen Küsten, um sich dann mit stets zunehmender Breite und abnehmender Temperatur östlich nach Europa hin zu wenden. Wenn auch der Golfstrom selbst nicht bis an die Küsten von Europa reicht, so verbreitet sich doch sein warmes Wasser, namentlich unter dem Einflusse der vorherrschenden Südwestwinde, in den europäischen Gewässern, was schon daraus hervorgeht, daß man an den westlichen Küsten von Irland und an den Küsten von Norwegen Früchte von Bäumen findet, die in der heißen Zone Amerika's wachsen; die West- und Südwestwinde bleiben also lange mit einem Meerwasser in Berührung, dessen Temperatur zwischen dem 45. und 50. Breitengrade selbst im Januar nicht unter 10,7 bis 9° sinkt. Durch den Einfluß dieses Golfstroms ist das nördliche Europa durch ein eisfreies Meer von dem Gürtel des Polareises getrennt; selbst in der kältesten Jahreszeit erreicht die Gränze des Polareises nicht

die europäischen Küsten, so daß man mitten im Winter vom Nordcap bis zur Südspitze von Spitzbergen fahren kann. Sabine fand zwischen dem 65. und 70. Breitengrade die mittlere Temperatur des atlantischen Oceans an der Oberfläche 5,5°, während bei gleicher Breite die mittlere Temperatur des europäischen Continents schon unter dem Gefrierpunkte ist.

Während so alle Umstände zusammenwirken, um die Temperatur in Europa zu erhöhen, wirken im nördlichen Asien mehrere Ursachen zusammen, um die Isothermen bedeutend herabzusenken. Im Süden von Asien liegen zwischen den Wendekreisen keine bedeutenden Ländermassen, nur einige asiatische Halbinseln ragen in die heiße Zone hinein; das Meer aber erwärmt sich nicht so stark wie die afrikanischen Wüsten, theils weil das Wasser die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt, theils aber auch, weil bei der fortwährenden Verdampfung von Wasser auf der Oberfläche des Meeres sehr viel Wärme gebunden wird. Die warmen Luftströme, welche, aus dem Becken des indischen Oceans aufsteigend, die Wärme der Tropen dem innern und nördlichen Asien zuführen könnten, werden aber noch durch die ungeheuren Gebirgsketten im Süden von Asien aufgehalten, während das nach Norden hin allmälig sich verflachende Land den Nord- und den Nordostwinden preisgegeben ist. Während sich Europa nicht weit nach Norden erstreckt, ragt Asien weit in das nördliche Eismeer hinein, welches, hier allen wärmenden Einflüssen entzogen, durch welche die Temperatur der europäischen Meere erhöht werden, fast immer mit Eis bedeckt ist. Ueberall reichen die Nordküsten von Asien bis an die Wintergränze des Polareises, und die Sommergränze dieses Eises entfernt sich nur auf kurze Zeit an einigen Stellen von den Küsten; daß aber dieser Umstand die Temperatur bedeutend erniedrigen muß, ist klar, wenn man bedenkt, wie viel Wärme bei der Schmelzung solcher Eismassen gebunden wird.

Die bedeutende Senkung der Isothermen im Innern und an den Ostküsten von Nordamerika rührt zum Theil daher, daß die Südwestwinde hier nicht mehr Seewinde, sondern Landwinde sind und deshalb hier nicht mehr den mildernden Einfluß ausüben können wie auf den Westküsten. Während die europäischen Küsten von wärmerem Wasser bespült sind, ziehen sich an den Ostküsten von Nordamerika kalte Meerströmungen von Norden nach Süden. Eine solche Strömung, von Spitzbergen herkommend, geht zwischen Island und Grönland hindurch und vereinigt sich dann mit den aus der Hudsons- und Baffinsbay kommenden Strömungen, um an der Küste Labrador herab, bei Neufoundland vorbei zu treiben und sich unter dem 44. Breitengrade in den Golfstrom zu ergießen. Diese arktische Strömung trägt die Kälte der Polarregionen theils durch die niedrige Temperatur des Wassers, größtentheils aber durch die schwimmenden Eisberge in die südlicheren Gegenden, und so ist diese Strömung

ein Hauptgrund der bedeutenden Senkung der Isothermen an den Ostküsten von Amerika.

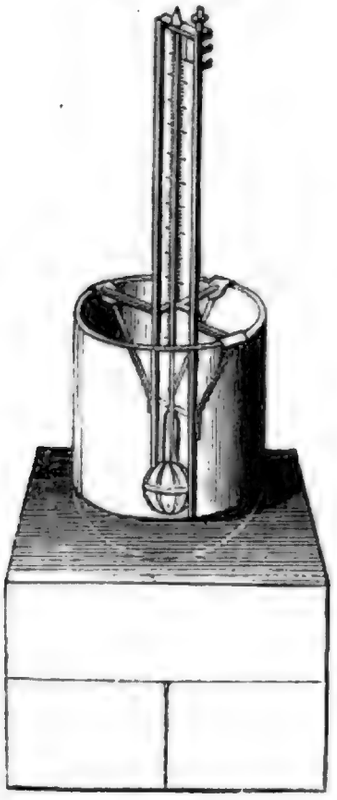
Temperatur des Bodens. Wir haben bisher nur immer die Tem- 186
peratur der Luft, aber nicht die Temperatur der oberen Bodenschichten besprochen, welche je nach der Natur der Bodenfläche oft bedeutend von der Lufttemperatur verschieden seyn kann; ein nackter, des Pflanzenwuchses beraubter, steiniger oder sandiger Boden wird durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit heißer, ein mit Pflanzen bedeckter Boden, z. B. ein Wiesengrund, wird durch die nächtliche Strahlung weit kälter als die Luft, deren Temperatur schon durch die fortwährenden Luftströmungen mehr ausgeglichen wird. In den afrikanischen Wüsten steigt die Hitze des Sandes oft auf 50 bis 60°. Ein mit Pflanzen bedeckter Boden bleibt kühler, weil die Sonnenstrahlen ihn nicht direct treffen können, die Pflanzen selbst binden gewissermaßen eine große Wärmemenge, indem durch die Vegetation eine Menge Wasser verdunstet; sie erkalten aber, wie wir bald näher sehen werden, wenn wir die Thaubildung betrachten, bei ihrem großen Emissionsvermögen durch Ausstrahlung der Wärme so stark, daß die Temperatur des Grases oft 6 bis 9 Grad unter die der Luft sinkt. Im Innern der Wälder ist die Luft beständig kühl, weil die dichte Laubdecke auf dieselbe Weise abkühlend wirkt wie eine Grasdecke, und weil die an den Gipfeln der Bäume abgekühlte Luft sich niedersenkt.

Wegen des unvollkommenen Wärmeleitungsvermögens kann die Wärme der obersten Bodenschichten nur nach und nach in das Innere eindringen; wenn die Oberfläche aber erkaltet, so verlieren die tieferen Bodenschichten weniger schnell ihre Wärme; in einer geringen Tiefe werden deshalb die Temperaturschwankungen weit geringer seyn als an der Oberfläche selbst. In Deutschland verschwinden schon bei einer Tiefe von 6 Decimetern die täglichen Temperaturschwankungen, und in einer noch größern Tiefe verschwinden sogar die jährlichen Variationen, so daß hier beständig eine Temperatur herrscht, welche nur wenig von der mittleren Temperatur des Ortes abweicht.

Seit 1671 hatte Cassini bemerkt, daß die Temperatur der Keller des Observatoriums zu Paris während des ganzen Jahres sich nicht ändert. Im Jahre 1730 machte Lahire dieselbe Beobachtung. Der Graf Cassini, Mitglied der Akademie der Wissenschaften, übersah zuerst die große Wichtigkeit dieser Erscheinung, im Jahre 1771 fing er an, sie durch eine Reihe von Versuchen näher zu untersuchen, und im Jahre 1783 stellte er gemeinschaftlich mit Lavoisier in den Kellern des Observatoriums einen sehr empfindlichen Apparat auf, welcher entscheidende Resultate liefern mußte. Dieser Apparat, welcher noch jetzt daselbst aufgestellt ist, hat folgende Einrichtung.

Auf dem Boden des Kellers, in einer Tiefe von 27,6 Metern erhebt ſich ein maſſiver Steinblock, Fig. 389, von 1,3 Metern Höhe, auf welchem ein mit feinem Sande gefülltes Glasgefäß ſteht; in dieſem Sande ſteckt die Kugel eines Thermometers, deſſen Theilung auf Glas geätzt iſt. Das Thermometer iſt von Lavoiſier ſelbſt conſtruirt und mit wohl gereinigtem Queckſilber gefüllt; ſeine Kugel hat 7 Centimeter im Durchmeſſer, und die Röhre iſt ſehr fein, ſo daß ein Grad eine Länge von ungefähr 95 Millimetern einnimmt, daß alſo $^1/_{100}$ Grad noch faſt eine Länge von 1^{mm} hat; man kann demnach noch die Hälfte von $^1/_{100}$ Grad ableſen. Das Thermometer geht nur bis auf 16^0, es hat aber oben ein kleines Behälter, in welches das Queckſilber hineinſteigen kann, wenn etwa die Temperatur über 16^0 ſteigen ſollte.

Fig. 389.



Dieſes Thermometer zeigt nun eine conſtante Temperatur von $11{,}82^0$, und dieſe Temperatur hat ſich ſeit einem halben Jahrhundert nicht geändert. Während dieſer ganzen Zeit iſt es nie um $^{25}/_{100}$ Grad von dieſer Temperatur von $11{,}82^0$ abgewichen; und man konnte nachweiſen, daß dieſe Abweichungen wahrſcheinlich durch zufällige Luftſtrömungen herbeigeführt worden waren, welche durch die Arbeiten der Steinbrecher von Paris veranlaßt wurden.

Die Tiefe, in welcher die jährlichen Temperaturſchwankungen verſchwinden, iſt nicht in allen Gegenden dieſelbe; ſie hängt von der Leitungsfähigkeit des Bodens, vorzüglich aber auch von der Größe des Temperaturunterſchiedes der heißeſten und kälteſten Jahreszeit ab. In der heißen Zone Amerika's fand Bouſſignault ſchon in einer Tiefe von 5 bis 6 Decimetern eine conſtante Temperatur, weil hier die Wärme ziemlich gleichförmig über die verſchiedenen Zeiten des Jahres verbreitet iſt.

Wie mit zunehmender Tiefe die jährlichen Veränderungen der Temperatur abnehmen, überſieht man aus folgenden Reſultaten, welche die zu Brüſſel in dieſer Beziehung von 1834 bis 1837 angeſtellten Verſuche geliefert haben.

Tiefe.	Schwankungen der Temperatur im Laufe eines Jahres.
0,19m	13,28°
0,45	12,44
0,75	11,35
1,00	10,58
1,95	7,59
3,90	4,49
7,80	1,13.

Vergleicht man die Beobachtungen von Paris, Straßburg, Zürich und Brüssel, so ergiebt sich, daß die jährlichen Schwankungen ungefähr in einer Tiefe von 24 Metern verschwinden.

Da die Wärme nur allmälig von der Oberfläche in die Tiefe eindringt, so ist klar, daß in der Tiefe das Maximum der Temperatur später erreicht wird als in der Atmosphäre, wie dies auch folgende von Forbes in Edinburg in verschiedenen Bodenarten angestellte Versuche bestätigen.

Bodenart.	Jährliche Temperaturschwankung in einer Tiefe von				Zeitpunkt des Temperaturmaximums in einer Tiefe von			
	1m	1,9m	3,9m	7,8m	1m	1,9m	3,9m	7,8m
Trapp . .	10,53°	6,61°	3,5°	0,80°	6. Aug.	2. Sept.	17. Oct.	8. Jan.
Sand . .	11,23	8,30	4,19	1,16	31. Juli	24. Aug.	7. Oct.	30. Dec.
Sandstein	9,58	7,72	5,22	2,28	5. Aug.	19. Aug.	11. Sept.	11. Nov.

In solchen Gegenden, deren mittlere Jahrestemperatur unter dem Gefrierpunkte ist, muß in einer bestimmten Tiefe der Boden stets gefroren seyn. So ist z. B. zu Jakuzk, dessen mittlere Jahrestemperatur —9,7° ist, wie schon oben erwähnt wurde, trotz der bedeutenden Sommerwärme in einiger Tiefe der Boden beständig gefroren. In der Hoffnung, Wasser zu finden, legte Ermann hier einen Brunnen an, fand aber in einer Tiefe von 50 Fuß noch eine Temperatur von — 7,5°; dieser Brunnen wurde später durch Schergin bis auf 358 Fuß vertieft. Folgendes sind die Temperaturen des Bodens in verschiedenen Tiefen:

15,2m . . .	— 7,5°
23,5 . . .	— 6,9
36,3 . . .	— 5,0
116,5 . . .	— 0,6.

Die stationäre Temperatur des Bodens wächst also mit zunehmender Tiefe. Dasselbe Resultat gaben auch an anderen Orten die Temperaturbestimmungen des Bodens in großen Tiefen, die man in tiefen Schachten und in artesischen Brunnen gemacht hat. Im Durchschnitt wächst die Temperatur für eine jedesmalige Vertiefung von 31 bis 32 Metern um 1^0.

187 **Quellentemperatur.** Die meisten wasserreichen Quellen haben eine Temperatur, welche sich in den verschiedenen Jahreszeiten nur sehr wenig ändert; in unserer Hemisphäre erreichen sie meistens ihre höchste Temperatur im September, die niedrigste im März; die Differenz ihrer höchsten und ihrer niedrigsten Temperatur beträgt in der Regel nur 1 bis 2^0. Die mittlere Temperatur der Quellen ist, wie die Temperatur der Erdschichten, aus welchen sie kommen, etwas höher als die mittlere Temperatur der Luft; für höhere Breiten steigt dieser Ueberschuß, wie Wahlenberg gezeigt hat, auf 3 bis 4^0; dagegen machen es einige Beobachtungen, welche in der heißen Zone gemacht wurden, wahrscheinlich, daß dort die mittlere Quellentemperatur etwas niedriger ist als die Luft.

Quellen, welche aus größeren Tiefen kommen, haben eine weit höhere Temperatur, wie dies bei vielen Salzquellen und sonstigen Mineralquellen der Fall ist. Das Wasser mancher Quellen hat fast die Temperatur des Siedpunktes.

188 **Temperatur der Seen und Flüsse.** In den Seen erleiden die oberen Wasserschichten ziemlich bedeutende Temperaturveränderungen; sie können im Winter zufrieren, während sie im Sommer oft eine Temperatur von 20 bis 25^0 erreichen; in der Tiefe findet dies jedoch nicht Statt. Sauſſure hat in dieser Beziehung die meisten Seen der Schweiz untersucht und die merkwürdige Thatsache bestätigt, daß in großen Tiefen die Temperatur der Seen ungefähr 5^0 beträgt.

Im Sommer wirken zwei Ursachen, um die Temperatur der oberen Wasserschichten zu erhöhen; die warme Luft streicht über den Wasserspiegel hin, und die von der Sonne kommenden Wärmestrahlen werden, indem sie mehr oder weniger tief in das Wasser eindringen, von demselben absorbirt. Die erwärmten Schichten mischen sich durch die Wellenbewegung, sie mischen sich aber nicht mit den Gewässern der Tiefe, weil sie wegen ihres geringeren specifischen Gewichtes oben schwimmen und weil selbst die heftigste Wellenbewegung doch nur auf eine geringe Tiefe merklich ist. Im Sommer und im Herbst muß also die Temperatur des Wassers in der Tiefe niedriger seyn als an der Oberfläche.

Im Winter erkalten die oberen Wasserschichten, weil sie mit der kalten Luft in Berührung sind und weil sie namentlich in der Nacht ihre Wärme ausstrahlen. Die erkaltende Schicht wird dichter, sie sinkt nieder und mischt sich mit dem wärmeren Wasser der tieferen Schichten; sobald sie sinkt, wird sie durch eine andere ersetzt, welche ebenfalls erkaltet und niedersinkt u. s. w.

Wenn das Waſſer kein Dichtigkeitsmaximum hätte, ſo würden auch im Winter die tiefſten Schichten die kälteſten ſeyn, die Oberfläche könnte alſo nicht eher die Temperatur von 0° annehmen, als bis die ganze Waſſermaſſe bis auf den Boden eben ſo weit erkaltet wäre, und die Folge davon würde ſeyn, daß die Seen bis auf den Grund zufrieren müßten. Weil das Waſſer aber ein Dichtigkeitsmaximum hat, iſt der Hergang ein anderer. Sobald die obern Waſſerſchichten die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums erreicht haben, ſinken ſie nieder, andere Waſſertheilchen treten an ihre Stelle, und ſo geht es fort, bis die ganze Waſſermaſſe dieſe Temperatur hat. Wenn nun, ſobald dies der Fall iſt, die Kälte noch fortdauert, ſo wird die obere Waſſerſchicht durch ferneres Erkalten leichter; ſie wird alſo fort und fort erkalten können, ohne niederzuſinken; nun nimmt die Temperatur alſo mit der Tiefe zu bis zu 4,1°. Aus dieſem Grunde findet auch die Eisbildung auf der Oberfläche Statt, die Dicke der Eisſchicht kann nur ſehr langſam zunehmen und nie eine bedeutende Dicke erlangen.

Dieſe Betrachtung zeigt uns auch, daß ruhige und ſehr tiefe Gewäſſer nur dann zufrieren können, wenn eine ſtrenge Kälte längere Zeit anhält, denn die ganze Waſſermaſſe, welche während des Sommers über 4,1° erwärmt worden iſt, muß nach und nach an die Oberfläche ſteigen, um da ihren Wärmeüberſchuß abzugeben; und wenn die wärmere Waſſermaſſe eine Tiefe von 500 bis 600 Fuß hat, ſo iſt klar, daß unter ſonſt gleichen Umſtänden eine weit längere Zeit nöthig iſt, damit alle wärmeren Waſſertheilchen der Reihe nach auf die Oberfläche ſteigen, um da bis zu 4,1° zu erkalten, als wenn die Tiefe nur 20 bis 30 Fuß betrüge. An den Ufern und über Bänken von bedeutender Ausdehnung, überhaupt an allen Stellen von geringererer Tiefe kann ſich deshalb auch ſchon eine Eisdecke bilden und eine bedeutende Dicke erlangen, während an den tieferen Stellen die Oberfläche des Waſſers vom Eiſe frei bleibt.

Es iſt nun die Frage, bis zu welcher Tiefe die Wärme des Sommers eindringen kann? Bis jetzt hat man darüber nur ſehr unvollſtändige Angaben. Nehmen wir z. B. an, die Sommerwärme wäre nur bis zu einer Tiefe von 500 Fuß merklich, ſo müßte ein 10,000 Fuß tiefer See eben ſo leicht zufrieren wie ein anderer, welcher nur 500 Fuß tief iſt, denn bei dem erſteren hat ja alles Waſſer, welches mehr als 500 Fuß unter dem Spiegel ſich befindet, das ganze Jahr hindurch die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums; es kann alſo auf die Erſcheinungen der oberen Waſſerſchichten in keiner Weiſe wirken.

Wenn vor dem Gefrieren einmal die ganze Waſſermaſſe eines Sees die Temperatur von 4,1° haben muß, ſo muß daſſelbe nach dem Aufthauen ebenfalls ſtattfinden, bevor die Temperatur der oberen Waſſerſchichten über die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums ſteigen kann.

In den Flüſſen iſt natürlich wegen der beſtändigen Bewegung, welche die Waſſerſchichten verſchiedener Temperatur fortwährend miſcht, die Vertheilung der Wärme weniger regelmäßig als in den Landſeen. Das Gefrieren beginnt in der Regel am Ufer, doch beobachtet man auch häufig, daß ſich die Eisſchollen mitten im Strome bilden und, anfangs ganz klein, bald eine bedeutende Größe erlangen. Eine ſehr auffallende Erſcheinung iſt die Bildung von Grundeis in den Flüſſen; dieſe Eisbildung findet nicht auf der Oberfläche, ſondern auf dem Boden Statt; wenn das am Boden gebildete Eis aufſteigt, ſo hebt es Steine und ſonſtige Gegenſtände vom Boden mit in die Höhe; im Rhein werden oft die Ankerketten der Schiffbrücken durch das Grundeis in die Höhe gebracht.

Die wahrſcheinlichſte Erklärung des Grundeiſes hat Arago gegeben; ſeine Anſicht iſt die, daß das Waſſer oft unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne feſt zu werden, daß die ſo ſtark erkalteten Waſſertheilchen ſogleich gefrieren, wenn ſie, durch die Strömung niedergezogen, mit den feſten Körpern auf dem Boden in Berührung kommen.

189 **Temperatur der Meere.** Von tüchtigen Reiſenden ſind die Aequatorialmeere und die Polarmeere befahren worden; überall haben ſie über die Temperatur und die damit zuſammenhängenden Erſcheinungen zahlreiche Reihen von Beobachtungen gemacht, welche für die Wiſſenſchaft von höchſtem Intereſſe ſind.

Auf dem Meere, in großen Entfernungen von den Küſten, ſind die täglichen Schwankungen der Lufttemperatur weit geringer als auf dem Lande. Auf dem Aequatorialmeere z. B. beträgt die Differenz des Maximums und des Minimums der Temperatur eines Tages höchſtens 1 bis 2°, während ſie auf dem Lande 5 bis 6° beträgt; in der gemäßigten Zone, zwiſchen dem 25. und 50. Breitengrade, iſt dieſer Unterſchied nur 2 bis 3°, während er auf dem Lande ſehr groß iſt; in Paris beträgt er manchmal 12 bis 15°.

Das Minimum der Temperatur findet auch auf dem Meere kurz vor Sonnenaufgang Statt, die Zeit des Maximums ſoll aber nach einigen Beobachtern dem Mittage näher liegen als auf den Continenten.

Vergleicht man die Temperatur der Luft, welche auf den Meeren ruht, mit der der oberen Waſſerſchichten, ſo ergeben ſich folgende Reſultate.

In den Tropen iſt in der heißeſten Tageszeit die Luft wärmer als das Waſſer; wenn man aber die Temperatur der Luft und des Waſſers von 4 zu 4 Stunden beſtimmt, wie es der Capitain Duperrey gethan hat, ſo ergiebt ſich, daß im Durchſchnitt die Temperatur der Luft niedriger iſt als die des Waſſers. Unter 1850 Beobachtungen, welche er gemacht hat, fand er 1371mal das Meer und nur 479mal die Luft wärmer.

In höheren Breiten, vom 25. bis zum 50 Grade iſt die Luft nur ſelten, in den Polargegenden faſt nie wärmer als die Oberfläche des Meeres.

Gehen wir nun zur Betrachtung der Temperatur des Meeres in verschiedenen Tiefen über.

In den Tropen nimmt die Temperatur der Meere mit der Tiefe ab, in den Polarmeeren dagegen nimmt sie mit der Tiefe zu.

Während in der heißen Zone die Temperatur der Meeresoberfläche 27° ist, sinkt dort die Temperatur des Wassers in der Tiefe unter + 4°. Die Beobachtungen, welche am Bord der Venus unter den Befehlen von Du-Petit-Thouars gemacht wurden, ergaben für die Temperatur der Tiefe in der heißen und gemäßigten Zone 3,2 bis 2,5°; unter 27° 47′ S. B. fand man z. B. im indischen Meere in einer Tiefe von 990 Faden die Temperatur 2,8°, während sie auf der Oberfläche 23,8° war; bei Penedo und S. Pedro 4° 23′ N. B. und 28° 26′ westlich von Paris an der Oberfläche 27°, in einer Tiefe von 1130 Faden aber 3,2°; Kotzebue fand in einer Tiefe von 525 Faden unter einer Breite von 32° 11′ die Temperatur des Wassers 2,5°.

Humboldt hat gezeigt, daß die Erkaltung der Meeresoberfläche während der Nacht nicht die Veranlassung der geringen Temperatur der Meerestiefen in den Tropen seyn kann und daß sie nur die Folge eines Meerstromes ist, welcher in der Tiefe die Gewässer der Pole dem Aequator zuführt; deshalb findet man auch in der Tiefe des mittelländischen Meeres, wo diese untere Meeresströmung nicht eindringen kann, keine so niedrigen Temperaturen.

Die Beobachtungen von Mulgrave, Scoresby, Roß und Parry geben das übereinstimmende Resultat, daß in den Polarmeeren die Temratur in der Tiefe höher ist als an der Oberfläche; in einer Tiefe von 700 Faden steigt die Temperatur des Wassers auf 2 bis 3°, während sie an der Oberfläche nicht über 0° war. Beechey dagegen fand in der Behringsstraße in einer Tiefe von 20 Faden die Temperatur des Wassers — 1,4°, während sie an der Oberfläche + 6,3° betrug; Beechey fand im Allgemeinen die Temperatur der Tiefe niedriger als die der Oberfläche.

Diese Widersprüche lassen sich noch nicht erklären, überhaupt ist man bis jetzt noch nicht im Stande, die Gesetze des Gleichgewichts der Meeresschichten so zu entwickeln, wie es bei dem süßen Wasser der Fall ist, weil die Dichtigkeit des Meerwassers nicht allein von seiner Temperatur, sondern auch von seinem Salzgehalte abhängt.

Durch den Salzgehalt des Wassers wird sowohl sein Gefrierpunkt als auch die Temperatur seines Dichtigkeitsmaximums erniedrigt. Despretz fand den Gefrierpunkt des Meerwassers (das Wasser, mit welchem er experimentirte, war von Freycinet in der Südsee geschöpft) bei — 2,55°, für die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums aber — 3,67°; das Dichtigkeitsmaximum findet also bei einer Temperatur Statt, welche unter der des

Gefrierpunktes liegt, es kann alſo nur beobachtet werden, wenn das Waſſer bis unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne zuzufrieren. Despretz unterſuchte den Gang der Ausdehnung des Meerwaſſers, indem er Thermometer damit conſtruirte, und dieſe Verſuchsmethode möchte wohl die einzige ſeyn, welche in dieſem Falle ein zuverläſſiges Reſultat geben kann. Für die Phyſik der Meere kann jedoch dies Reſultat keine Anwendung finden, indem wohl ſchwerlich eine bedeutende Waſſermaſſe ihrer ganzen Ausdehnung nach unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne feſt zu werden.

Beim Gefrieren des Meerwaſſers bildet ſich reines Eis, während die Concentration des flüſſigbleibenden Theiles zunimmt, die oberen Schichten nehmen alſo in den kalten Zonen aus zwei Gründen an Dichtigkeit zu, erſtens wegen der Temperaturerniedrigung und zweitens wegen der bei der Eisbildung zunehmenden Concentration des Waſſers; da aber die dichter gewordenen Waſſertheilchen niederſinken müſſen, ſo bleibt es noch immer unerklärlich, wie in den Polarmeeren die Temperatur des Waſſers in der Tiefe zunehmen kann.

Sollte vielleicht dieſelbe Urſache, welche veranlaßt, daß die Temperatur der feſten Erdrinde mit wachſender Tiefe immer mehr zunimmt, auch eine Erwärmung des Meeres von ſeinem Boden aus veranlaſſen?

Wenn am Boden des Meeres eine ſolche Erwärmung ſtattfinden ſollte, ſo könnte das erwärmte Waſſer doch nicht bis zur Oberfläche des Meeres ſteigen, weil es, ſich mit den an der Oberfläche erkalteten und niederſinkenden Waſſertheilchen miſchend, ſeine höhere Temperatur alsbald verliert.

Die Eisbildung in den Polarmeeren gehört zu den großartigſten Erſcheinungen der Natur. Die Eismaſſen, denen man an den Küſten von Spitzbergen und Grönland begegnet, ſind in der Regel 20 bis 25 Fuß dick; ſie bilden ungeheure Ebenen, deren Gränzen man oft von den höchſten Maſten der Schiffe nicht überſehen kann; es ſind dies die ſogenannten Eisfelder, deren Oberfläche manchmal 300 bis 400 Quadratmeilen beträgt. Die Oberfläche der Eisfelder iſt oft vollkommen eben, oft aber auch uneben und ſchollig. Manchmal ſieht man Erhebungen, gleichſam Säulen von einer Höhe von 20 bis 30 Fuß, welche einen ſehr maleriſchen Anblick darbieten, indem ſie bald die ſchönſte bläulichgrüne Farbe zeigen, bald mit einer dicken Schneeſchicht überdeckt ſind.

Durch den Wellenſchlag, vielleicht auch durch andere Urſachen, zerberſten dieſe Eisfelder oft plötzlich und zertheilen ſich in Stücke von 100 bis 200 Quadratmeter Oberfläche. Dieſe Stücke werden oft durch einen ſchnellen Meeresſtrom fortgeführt, und wenn ſie einem entgegengeſetzten Meeresſtrome begegnen, welcher die Stücke eines andern Eisfeldes mit ſich führt, ſo ſtoßen die Eismaſſen mit furchtbarem Krachen aneinander. Ein Schiff, welches das Unglück hat, zwiſchen ſolche Maſſen zu gerathen, kann der ungeheuren

Kraft nicht widerstehen, es wird förmlich zerquetscht. Man hat viele traurige Beispiele, daß Schiffe auf diese Weise zu Grunde gingen.

Wenn die Eismassen zum Theil bei diesem schrecklichen Zusammentreffen zerbersten, wenn sie gleichsam zerbröckelt werden, so nehmen andere an Masse zu und werden noch furchtbarer. Eisstücke, welche durch die Wogen gehoben werden, fallen über die anderen Eisblöcke her, und so entstehen wahre Eisberge, welche oft 10 bis 15 Meter über den Wasserspiegel emporragen. Da die Dicke des über das Wasser hervorragenden Theils $\frac{1}{4}$ des untergetauchten beträgt, so sind solche Eisberge im Ganzen 55 bis 75 Meter hoch.

In der Baffinsbay findet man noch weit höhere Eisberge als in den grönländischen Meeren, sie ragen manchmal 30 bis 40 Meter über den Meeresspiegel hervor und haben also eine Totalhöhe von 150 bis 200 Metern. Man glaubt, daß sich diese Eisberge an den Küsten bilden, wo sie die Thäler versperren, welche in das Meer münden, und daß sie dann durch irgend eine Ursache losgerissen werden. In der That sieht man dort an den Küsten solche in einzelne Zacken zerrissenen Eisberge von herrlicher bläulicher Farbe und wunderbarer Höhe. Im Sommer, wenn das Eis durch die Wirkung der Sonnenstrahlen geschmolzen wird, strömt das Wasser von dem Kamme dieser Gebirge in ungeheuren Wasserfällen in das Meer herab. Es ist dies ein majestätisches Schauspiel, welches die Schiffer jedoch nur aus der Ferne betrachten, denn die gigantischen, hoch in die Lüfte ragenden Eiszacken und Bogen bersten plötzlich unter ungeheurem Krachen und stürzen in das Meer herab.

Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen. Die 190
Erwärmung der Luft hat zwei Ursachen; zunächst absorbirt sie einen Theil der von der Sonne kommenden Wärmestrahlen; weil aber die Luft die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt als die Erdoberfläche, so ist auch die Erwärmung der Luft durch die Absorption der Wärmestrahlen ungleich geringer als die Erwärmung des Bodens; den bedeutendsten Antheil ihrer Wärme erhält die Atmosphäre von unten her.

Wäre die Luft keine elastische Flüssigkeit, bliebe die Dichtigkeit der Atmosphäre für alle Höhen dieselbe, so würden die am Boden erwärmten Luftschichten bis an die Gränze der Atmosphäre steigen, die obersten Schichten des Luftmeers, welches unsere Erde einhüllt, würden auch die wärmsten seyn. Weil sich aber die warmen Luftschichten bei ihrem Aufsteigen ausdehnen, so wird bei dieser Ausdehnung Wärme gebunden, ihre Temperatur muß sinken, und so kommt es, daß die höheren Luftschichten kälter sind als die tieferen.

Daß eine solche Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen wirklich stattfindet, davon überzeugt man sich, wenn man zu diesen höhern

Regionen aufsteigt, mag man sich nun in einem Luftballon erheben oder den Gipfel hoher Berge besteigen.

Gay-Lussac fand bei seiner Luftfahrt im Durchschnitt eine Temperaturabnahme von 1° für eine Erhebung von 174 Toisen.

Auf hohen Bergen zeigt schon die Veränderung der Vegetation die Abnahme der Temperatur an: je höher man steigt, desto mehr nimmt die Vegetation den Character kälterer Himmelsstriche an; am auffallendsten zeigt sich dieser Wechsel in den Tropen; besonders großartig erscheint er aber an den ungeheuren Gebirgen Südamerika's, wo man in einem Tage aus den Wäldern von Palmen und Bananen bis zu den Gränzen des ewigen Schnees aufsteigen kann.

Wie in der Andeskette und den mexicanischen Gebirgen die Temperatur mit der Höhe über der Meeresfläche abnimmt, übersieht man aus folgender von Humboldt gegebenen Tabelle.

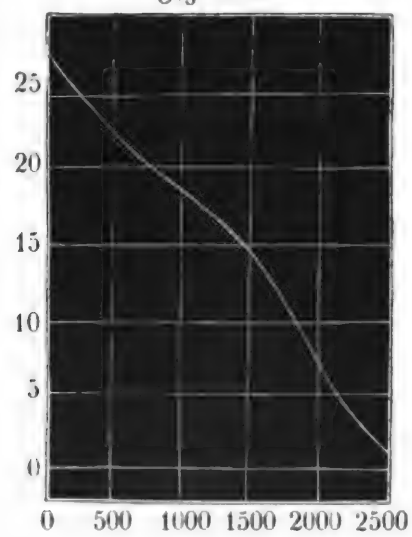
Höhe über der Meeresfläche.	Mittlere Temperatur.	
	Cordilleras de los Andes.	Mexicanische Gebirge.
0	27,5°	26,0
500	21,8	19,8
1000	18,0	18,0
1500	14,3	14,0
2000	7,0	7,5
2500	1,5	1,0

Da sich in der heißen Zone die Temperatur der Luft im Laufe eines Jahres nur wenig ändert, so kann man sich von der Temperatur in verschiedenen Höhen der Andeskette die beste Vorstellung machen, wenn man sie mit der mittleren Temperatur gewisser Monate in höheren Breiten vergleicht. So findet man in den Ebenen des Orinoko täglich eine Temperatur, welche noch um 4° höher ist als die mittlere Temperatur des Monats August in Palermo; zu Popayan, 911 Toisen über dem Meere, findet man die Temperatur der drei Sommermonate in Marseille; zu Quito die Temperatur der letzten Hälfte des Mai, in den Paramos (1800 T.) die Temperatur der ersten Hälfte des Aprils in Paris.

Untersuchen wir nun, nach welchem Gesetze die Temperatur abnimmt, so sehen wir bald, daß diese Abnahme durchaus nicht gleichförmig, d. h. nicht der Erhebung proportional ist. Erhebt man sich in den Cordilleras de los Andes vom Spiegel des Meeres um 500 Toisen, so sinkt die mittlere

Temperatur um 5,7°, bei fernerem Steigen iſt die Temperaturabnahme weniger raſch, denn wenn man um 1000 Toiſen weiter, nämlich von 500 bis 1500 T., ſteigt, ſo ſinkt die mittlere Temperatur nur um 7,5°,

Fig. 390.



dann aber nimmt die Temperaturabnahme wieder raſch zu, indem ſie ſchon für die nächſten 500 Toiſen, von 1500 bis 2000, faſt eben ſo viel, nämlich 7,3°, beträgt. Um das Geſetz der Temperaturabnahme recht anſchaulich zu machen, iſt es Fig. 390 graphiſch dargeſtellt; die Abſciſſen ſind den Erhebungen über dem Meeresſpiegel, die Ordinaten den entſprechenden mittlern Temperaturen proportional; man ſieht, wie die Temperatur anfangs raſch ſinkt, wie die Temperaturkurve zwiſchen 500 bis 1500 Toiſen weniger ſteil iſt, wie ſie ſich aber alsdann wieder raſch ſenkt.

Das Geſetz der Temperaturabnahme, welches namentlich von der Configuration der Gebirgszüge abhängt, iſt nicht für alle Gegenden daſſelbe, ſo iſt es z. B. ſchon für die mexicaniſchen Gebirge ein anderes.

Beim Aufſteigen in einem Luftballon muß man nothwendiger Weiſe ein ganz anderes Geſetz der Temperaturabnahme beobachten als auf hohen Bergen, weil die Gebirge, indem ſie ſich unter dem Einfluſſe der Sonnenſtrahlen erwärmen und des Nachts die Wärme ausſtrahlen, nothwendig auf die Temperatur der Luftſchichten einwirken müſſen, in welche ſie hineinragen. Dieſer Einfluß wird um ſo mächtiger ſeyn, je bedeutender die Maſſe der Gebirge iſt. Ein iſolirter hoch in die Luft hineinragender Bergkegel oder ein Bergkamm wird die höheren Regionen der Atmoſphäre nicht merklich erwärmen können, weil die Winde in jedem Augenblicke nur kalte

Luftmaſſen an ihm vorbeiführen; eine Hochebene von bedeutendem Umfange aber, welche ſich unter dem Einfluſſe der Sonnenſtrahlen bedeutend erwärmen kann, indem ſie von einer weniger dichten und weniger hohen Luftſchicht bedeckt iſt als die tieferen Gegenden, weil alſo die Sonnenſtrahlen, welche eine Hochebene treffen, durch Abſorption in der Luft weniger Wärme verloren haben als die, welche zur Tiefe gelangen, kann allerdings einen merklichen Einfluß auf die Erwärmung der höheren Luftregionen ausüben, welche über ihr ſchweben und welche eben wegen der größeren Ausdehnung des Plateaus längere Zeit mit dem erwärmten Boden in Berührung bleiben.

Unter ſonſt gleichen Umſtänden muß es demnach auf Hochebenen wärmer ſeyn als auf iſolirten Berggipfeln von gleicher Höhe. In den mexicaniſchen Gebirgen zwiſchen dem 18. und 19. Grade nördlicher Breite hört ſchon in einer Höhe von 4200 Metern alle phanerogamiſche Vegetation auf, die Schneegränze findet ſich in einer Höhe von 4500 Metern, während bei gleicher ſüdlicher Breite in Peru in größerer Höhe eine zahlreiche ackerbauende Bevölkerung wohnt; Potoſi liegt 4166 Meter über dem Meeresſpiegel, die Schneegränze liegt hier in einer Höhe von 5646 Metern. Dies erklärt ſich nur durch die bedeutende Ausdehnung und Höhe der Hochebenen Peru's. Das Plateau, in deſſen Mitte der Titicaca-See liegt, erhebt ſich zwiſchen zwei Gebirgsketten bis zu einer Höhe von mehr als 3800 Metern; bei einer Breite von 60 geographiſchen Meilen erſtreckt es ſich vom 16. bis zum 20. Grade ſüdlicher Breite, ſo daß es eine Oberfläche von 3600 Quadratmeilen hat. Die Plateaus der Andes in der Nähe des Aequators haben höchſtens eine Oberfläche von 10 Quadratmeilen, und die Höhe der mexicaniſchen Hochebene beträgt nur 2000 bis 2500 Meter.

Ein anderes Beiſpiel bietet die Hochebene von Tibet und der chineſiſchen Tartarei. In einer Höhe von 3663 Metern wird hier in einer Breite von 32° noch Weizen mit Erfolg gebaut, die Cultur der Gerſte ſteigt noch weit höher hinauf, während auf dem ſüdlichen Abhange des Himalaya, in den Thälern des Ganges ſchon in einer Höhe don 2970 Metern alle Cultur aufhört; ja ſelbſt unter dem Aequator auf den Plateaus von Quito und Caxamarca iſt die Gränze der Cultur des Weizens 760 Meter tiefer als in den Hochebenen von Tibet.

Der Einfluß der Hochebenen auf die Temperatur der oberen Luftregionen iſt in ihrer Mitte am bedeutendſten. Zu Santa Fe de Bogota, in der Mitte eines Plateaus, iſt die mittlere Jahrestemperatur 14,5° während ſie in gleicher Höhe zu Facatativa am Rande des Plateaus nur 13,1° iſt.

Während ſich die Hochebenen unter der Einwirkung der Sonnenſtrahlen ſtark erwärmen, indem dieſe nur eine weniger hohe und weniger dichte Luftſchicht zu durchdringen haben, weil ſie alſo weniger durch atmoſphäriſche

Absorption geschwächt sind als die Strahlen, welche die tieferen Ebenen treffen, ist auch aus demselben Grunde der Wärmeverlust, den sie durch die nächtliche Strahlung erleiden, viel bedeutender als in der Tiefe. Auf der Hochebene von Caxamarca in Peru, wo in einer Höhe von 1660 Metern die mittlere Temperatur 16° ist, verfriert doch der Weizen häufig des Nachts. Humboldt sah hier bei Tage im Schatten das Thermometer auf 25° steigen, während es vor Sonnenaufgang nur 8° gezeigt hatte.

Auf den Hochebenen sind also die täglichen Schwankungen der Temperatur, und, wenn sie weiter vom Aequator entfernt liegen, auch die jährlichen viel größer als unter sonst gleichen Umständen in der Tiefe; so hat z. B. die Hochebene von Tibet sehr heiße Sommer, obgleich die mittlere Jahrestemperatur ziemlich niedrig ist (die mittlere Temperatur des Monats October fand Turner 5,7°, und dies ist so ziemlich genau auch die mittlere Jahrestemperatur), weil dagegen der Winter um so kälter ist. Auf der Nordseite des Himalaya liegen die Culturgränzen und die Schneegränze nicht etwa deshalb höher als auf dem südlichen Abhange, weil die mittlere Jahreswärme höher, sondern weil bei der ungleichmäßigeren Wärmevertheilung der Sommer auf der nördlichen Abdachung heißer ist.

Während auf Hochebenen die periodischen Temperaturschwankungen größer sind als in der Tiefe, sind sie für isolirte Gebirge umgekehrt in der Höhe geringer, weil die isolirten Berge auf die Temperatur der höheren Luftregionen nur einen unbedeutenden Einfluß ausüben und weil die periodischen Temperaturveränderungen des Bodens in der Ebene, welche sich zunächst den unteren Luftschichten mittheilen, in der Höhe weniger merklich sind. So ist z. B. nach Humboldt's Angaben die Differenz zwischen dem täglichen Maximum und Minimum zu Cumana (10 Meter über dem Meeresspiegel) 11,5°, zu Quito aber 16°. Kämtz fand dagegen als Mittel aus einer Beobachtungsreihe von mehreren Wochen die Differenz des täglichen Maximums und Minimums auf dem Faulhorn gleich 3,8°, während in Zürich gleichzeitig diese Differenz 9,5° war. Auf dem Gipfel des Faulhorns sind also die täglichen Schwankungen geringer, auf dem Plateau von Quito aber größer als in der Tiefe.

Da der tägliche Gang der Wärme auf den Höhen ein anderer ist als in der Tiefe, so ist auch die Differenz der gleichzeitigen Temperaturen an der höheren und an der tieferen Station nicht zu allen Stunden dieselbe.

Auch der jährliche Gang der Wärme ist in der Höhe ein anderer, folglich wird auch der Unterschied der mittleren Temperaturen zweier ungleich hohen Stationen in verschiedenen Monaten nicht derselbe seyn. Aus einer 20jährigen Reihe von Beobachtungen, die gleichzeitig auf dem St. Bernhard und in Genf angestellt wurden, ergaben sich für die Temperaturdifferenz der beiden Orte in den verschiedenen Monaten folgende Werthe:

Monate.	Temperaturdifferenz.	Höhe, um welche man ſich erheben muß, damit die Temperatur um 1°R. ſinkt.
Januar	6,64° R.	970 Par. F.
Februar	7,74	832
März	8,80	731
April	9,52	676
Mai	9,30	692
Juni	9,46	680
Juli	9,55	674
Auguſt	9,67	702
September	8,74	736
October	8,32	773
November	7,53	855
December	7,68	837
Mittel	8,54	753

Wenn die Temperaturabnahme gleichförmig wäre, ſo würde man leicht die Höhe finden, um welche man ſich erheben muß, damit die Temperatur um 1° ſinkt, wenn man mit der Temperaturdifferenz der beiden Stationen in den Höhenunterſchied derſelben dividirt; für unſer Beiſpiel beträgt dieſe Höhendifferenz 6435 Par. Fuß; da aber die Temperaturdifferenz beider Orte im Durchſchnitt 8,54° R. iſt, ſo ergiebt ſich als Mittel für die Höhe, um welche man in den Alpen ſteigen muß, damit die Temperatur um 1° ſinkt, $\frac{6435}{8,54} = 743' = 125$ Toiſen oder 100 Toiſen für 1° C. Auf ähnliche Weiſe ſind alle Zahlen der letzten Columne der obigen Tabelle berechnet.

Während die Vergleichung der Temperaturen von Genf und St. Bernhard im Durchſchnitt eine Erhebung von 100 Toiſen oder 195 Metern für eine Temperaturerniedrigung von 1° C. geben, erhält man aus der Vergleichung der Temperatur anderer Orte, die in verſchiedener Höhe in den Alpen oder in der Nähe derſelben liegen, im Durchſchnitt eine Erhebung von 173 Metern für eine Temperaturerniedrigung von 1° C. Dieſe Differenz rührt wahrſcheinlich daher, daß die Temperatur am Hoſpiz auf dem St. Bernhard durch den Einfluß der Südwinde, dem es beſonders ausgeſetzt iſt, etwas erhöht wird.

Da Humboldt für die ſüdamerikaniſchen Gebirge unter dem Aequator

eine Temperaturabnahme von 26° C. für eine Erhebung von 2500 Toiſen fand, ſo ergiebt ſich dort im Durchſchnitt eine Erhebung von 96 Toiſen oder 187 Metern für eine Temperaturabnahme von 1° C., auf den Plateaus aber eine Erhebung von 243 Metern für 1°.

Kennt man für eine Gegend die Höhendifferenz, welche einer Temperaturerniedrigung von 1° entſpricht, ſo kann man aus der mittleren Temperatur eines höher gelegenen Ortes annähernd genau die mittlere Temperatur berechnen, welche ſich unter ſonſt gleichen Umſtänden im Niveau des Meeres finden würde; dividirt man nämlich mit dem Höhenunterſchiede, welcher einer Temperaturdifferenz von 1° entſpricht, in die Höhe des Beobachtungsortes, ſo findet man, um wie viel Grade die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres höher ſeyn würde. Wir haben eben geſehen, daß in den Alpen durchſchnittlich 100 Toiſen einer Temperaturdifferenz von 1° C. entſprechen; nun aber iſt das Hoſpiz auf dem St. Bernhard 1280 Toiſen über dem Meeresſpiegel, ſeine mittlere Temperatur iſt alſo $\frac{1280}{100} = 12{,}8°$ niedriger als am Meeresſpiegel; da aber die mittlere Temperatur auf dem St. Bernhard — 1° iſt, ſo ergiebt ſich für die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres 11,8°.

Genf liegt 203 Toiſen über dem Meeresſpiegel, ſeine mittlere Temperatur 9,7° iſt demnach $\frac{203}{100} = 2{,}03°$ niedriger als ſie ſeyn würde, wenn Genf im Niveau des Meeres läge; ſeine Temperatur würde alſo für dieſen Fall $9{,}7 + 2{,}03 = 11{,}73°$ betragen.

Die mittlere Temperatur der ſüdöſtlichen Schweiz, auf dem Meeresſpiegel reducirt, wäre demnach 11,7 bis 11,8° C.

Die Iſothermen auf der Karte Seite 459, ſo wie die Iſotheren und Iſochimenen auf der Karte Seite 403 ſind ſo gezogen, wie dieſe Linien laufen würden, wenn alle Orte in der Höhe des Meeresſpiegels lägen; die Temperatur der verſchiedenen Orte iſt alſo auf das Niveau des Meeres reducirt.

Die Gränze des ewigen Schnees liegt natürlich um ſo höher, je mehr man ſich der heißen Zone nähert. Die Höhe der Schneegränze in verſchiedenen Gegenden der Erde iſt in folgender Tabelle zuſammengeſtellt.

Gebirge.	Breite.	Untere Gränze des ewigen Schnees.	Mittlere Temperatur im Niveau des Meeres in gleicher Breite	
			des ganzen Jahres.	des Sommers.
Norwegen, Küſte	71¼° N.	720m	0,2	6,4
Norwegen, im Innern	70—70¼°	1072	— 3,0	11,2
Island	65°	936	4,5	12,0
Norwegen, im Innern	60—62°	1560	4,2	16,3
Altankette (Sibirien)	60° 55′	1364	....	....
Nördl. Ural	59° 40′	1460	1,2	16,7
Kamſchatka	56° 40′	1600	2,0	12,6
Altai	49¼—51°	2144	7,3°	16,8
Alpen	45¾—46°	2708	11,2	18,4
Kaukaſus (Elborus)	43° 21′	3372	13,8	21,6
Pyrenäen	42½—43°	2728	15,7	24°,0
Aetna	37½°	2905	18,8	25,1
Nördl. Abhang d. Himalaya	30¾—31°	5067	....	....
Südl. Abhang d. Himalaya	.....	3956	20,2	25,7
Mexico	19—19¼°	4500	25	27,8
Abyſſinien	13° 10′	4287	....	....
Sierra Nevada de Merida	8° 5′	4550	27,2	28,3
Vulkan v. Tolima	4° 46′	4670	....	....
Quito	0° 0′	4824	27,7	28,6
Oeſtliche Cordilleras von Chili	14½—18° S.	4853	....	....
Weſtliche Cordilleras von Chili	14½—18° S.	5646	....	....
Chili, Andes d. Küſten	41—44°	1832	....	....
Magellansſtraße	53—54°	1130	5,4°	10°

Man glaubte ſonſt, daß ſich die Gränze des ewigen Schnees ſtets in ſolchen Regionen finden müßte, wo die mittlere Jahrestemperatur 0° iſt. Wenn dies ſo wäre, ſo müßten alle Länder, deren mittlere Jahrestemperatur unter Null iſt, beſtändig mit Schnee bedeckt ſeyn, während wir doch z. B. wiſſen, daß ſelbſt zu Jakutzk, bei einer mittleren Jahrestemperatur von — 9,7°, noch Cerealien gebaut werden.

Die Gränze, bis zu welcher ſelbſt im Sommer der Schnee nicht wegſchmilzt, kann alſo nicht ohne Weiteres aus der mittleren Jahrestemperatur eines Ortes abgeleitet werden, ſie hängt nicht ſowohl von der mittleren

Jahreswärme, ſondern vielmehr von der Vertheilung der Wärme auf die verſchiedenen Jahreszeiten ab.

In Jakuzk iſt die mittlere Temperatur des heißeſten Monats 20,3°. Bei einer ſolchen Wärme muß der Schnee wegſchmelzen, der Winter mag noch ſo kalt geweſen ſeyn. Wenn zu Jakuzk bei unveränderter mittlerer Jahrestemperatur von — 9,7° die Wärme ſo vertheilt wäre, daß ſie nur zwiſchen 0° und — 20° ſchwankte, ſo würde der Schnee ewig liegen bleiben.

Die mittlere Temperatur der Schneegränze kann alſo an Orten, welche ein ſehr exceſſives Klima haben, ſehr niedrig ſeyn; in ſolchen Gegenden aber, für welche die Differenz zwiſchen der Sommer- und Wintertemperatur geringer iſt, wird die mittlere Jahrestemperatur der Luftwärme an der Gränze des ewigen Schnees höher ſeyn. Da nun zwiſchen den Wendekreiſen die Schwankungen der Temperatur weit geringer ſind als in den gemäßigten Zonen und in den Polargegenden, ſo wird auch die mittlere Jahrestemperatur der Luft an der Schneegränze in den Tropen weit höher ſeyn als in höheren Breiten.

Denken wir uns einen Ort, an welchem die Temperatur der Luft das ganze Jahr hindurch 0° betrüge, ſo könnte der Schnee, welcher hier fällt, unmöglich wegſchmelzen, und man ſieht leicht ein, daß, wenn die Temperatur eines Ortes nur um ſehr wenige Grade ſchwankt, die mittlere Temperatur über 0° ſeyn muß, damit der gefallene Schnee vollkommen wegſchmelzen kann, wenn man bedenkt, wie viel Wärme beim Schmelzen des Schnees gebunden wird. Es iſt daher leicht zu begreifen, daß in den Tropen die mittlere Lufttemperatur an der Schneegränze über Null iſt.

In den Tropen iſt die mittlere Lufttemperatur der Schneegränze + 1,5°, während ſie in Norwegen vom 60. bis 70. Breitengrade — 6° iſt; in Sibirien iſt ſie natürlich noch niedriger.

Da die Schneegränze vorzugsweiſe von der Temperatur des heißeſten Monats abhängt, ſo muß die Höhe der Schneegränze in verſchiedenen Gegenden, für welche die mittlere Jahreswärme in der Ebene gleich iſt, verſchieden ſeyn, wenn die Vertheilung der Wärme an beiden Orten ungleich iſt, wenn die eine Gegend ein Küſtenklima, die andere aber ein Continentalklima hat. Bei gleicher mittlerer Jahreswärme in der Ebene liegt die Schneegränze für ein Küſtenklima tiefer als für ein Continentalklima.

So hat z. B. Island und das Innere von Norwegen vom 60. bis 62. Grade faſt ganz gleiche mittlere Jahreswärme, in Island iſt aber die Sommerwärme geringer, und deshalb liegt auch die Schneegränze bedeutend (630^{m}) tiefer.

Je mehr Schnee im Winter fällt, deſto heißer muß es im Sommer werden, wenn er ganz wegſchmelzen ſoll; da nun an den Küſten mehr Schnee fällt als im Innern der großen Continente, wo die Luft weit trock-

ner iſt, ſo iſt darin ein neuer Grund zu ſuchen, warum an den Küſten die Schneegränze verhältnißmäßig tiefer liegt als im Innern des Landes.

Die Pyrenäen und der Kaukaſus liegen ungefähr in gleicher Breite; die mittlere Jahrestemperatur ſowohl als auch die mittlere Sommerwärme iſt am Fuße der Pyrenäen höher als am Fuße des Kaukaſus, und doch iſt die Schneegränze am Kaukaſus um 650 Meter höher als in den Pyrenäen, weil dort weit weniger Schnee fällt als hier.

Sehr auffallend erſcheint es auch, daß die Schneegränze auf der nördlichen Abdachung des Himalaya um mehr als 1100 Meter höher liegt als am ſüdlichen Abhange; es wird dies aber begreiflich, wenn man bedenkt, daß gerade die über dem indiſchen Ocean mit Feuchtigkeit geſättigte Luft, an den ſüdlichen Abhang des rieſenhaften Gebirges anſchlagend, dort ungeheure Maſſen von Regen in den niederen und von Schnee in den höheren Regionen abſetzt, während aus der trocknen Luft auf der nördlichen Abdachung ungleich weniger Schnee herabfällt; außerdem aber ſchließt ſich an die nördliche Abdachung die bedeutende Hochebene von Tibet an, während ſich das Gebirge auf der Südſeite raſch bis zum Spiegel des Meeres herabſenkt.

Das Tafelland von Tibet beſteht eigentlich aus mehreren durch Gebirgsketten getrennten Hochebenen von außerordentlicher Trockenheit, auf welchen die Temperaturſchwankungen außerordentlich groß ſind; da die ſo felſigen und ſandigen Hochebenen ſich im Sommer durch die Abſorption der Sonnenſtrahlen bedeutend erwärmen, wirken ſie eben deshalb bedeutend, um die Schneegränze zu erhöhen.

Ein ähnlicher Unterſchied zeigt ſich zwiſchen den öſtlichen und weſtlichen Cordilleras von Chili. Nach den Meſſungen von Pentland iſt die Schneegränze vom 14. bis zum 18. Breitengrade noch bedeutend höher als unter dem Aequator ſelbſt, was offenbar nur von dem Einfluſſe der Hochebenen herrühren kann.

Die Gränze des Schnees ſteigt und ſinkt mit den verſchiedenen Jahreszeiten; dieſe Schwankung iſt in der heißen Zone Amerika's ſehr unbedeutend, ſie beträgt nach Humboldt nur 80 bis 110 Meter; man darf jedoch die Gränze des Schnees nicht mit den Gränzen verwechſeln, bis zu welchen noch von Zeit zu Zeit Schnee fällt und auch einige Zeit liegen bleibt. In den mexicaniſchen Gebirgen liegen die Gränzen, zwiſchen welchen die Schneegränze auf- und niederſteigt, ſchon bedeutend weiter, nämlich um 623 Meter, auseinander; dieſer Unterſchied iſt leicht zu begreifen, wenn man bedenkt, daß die mittlere Temperatur der drei wärmſten Monate in Mexico um 6^0, in Quito aber nur 1^0 bis 2^0 mehr beträgt als die mittlere Temperatur der drei kälteſten Monate.

Eine ganz eigenthümliche, den ewigen Schnee hoher Gebirge häufig begleitende Erſcheinung ſind die Gletſcher. Möge es erlaubt ſeyn, die

treffliche Beschreibung der Alpengletscher hier wörtlich anzuführen, welche Kämtz in seinen »Vorlesungen über Meteorologie« gegeben hat.

»Betrachtet man ein größeres Gebirge, z. B. die Alpen, im Sommer von einem entfernten Standpunkte (Rigi oder Weißenstein bei Solothurn), so unterscheidet man deutlich in der Tiefe die Region der Cultur, darüber den Waldgürtel, späterhin die ausgedehnten Weiden und über diesen die Region des Schnees. Die untere Gränze desselben erscheint ziemlich scharf als horizontale Linie, nur an einzelnen Stellen ziehen sich von ihr unregelmäßige weiße Streifen bis zu bedeutender Tiefe herab; diese Streifen, welche deutlich in den Thälern liegen, sind die Gletscher.

»Wenn man den Gletscher näher betrachtet, so findet man, daß er ganz aus Eis, keineswegs aber aus Schnee besteht, und daß diese Masse oft rings von Getreidefeldern umgeben ist. Dieses Eis bildet aber nicht die zusammenhängenden durchsichtigen Massen, wie es uns das auf den Flüssen gebildete Eis zeigt, vielmehr läßt es sich mit der größten Leichtigkeit in Körner zerschlagen, welche einzeln in hohem Grade durchsichtig, aber von einander durch Zwischenräume getrennt sind. Dadurch, daß die ganze Eismasse nur aus solchen Körnern besteht, wird es uns möglich, mit Leichtigkeit auf den Gletschern zu gehen. In der Tiefe haben diese Körner etwa die Größe einer Wallnuß; so wie wir jedoch höher steigen, werden sie kleiner, bis sie in der Höhe von 8000 Fuß etwa die Größe von Erbsen haben. Die Oberfläche des Gletschers bildet hier nicht mehr die compacte Masse; bei schönem Sonnenschein sinkt man in sie wie in lockeren Sand ein; diese lockere Masse hat den Namen Firn, sie wird immer kleiner, und in den höchsten Regionen geht sie allmälig in Schnee über; selbst wenn die Oberfläche mit Firn bedeckt ist, treffen wir in der Tiefe einiger Zolle eigentlichen Schnee.

»Diese Firnmasse ist aus dem Schnee entstanden, und ich hatte im Jahre 1833 Gelegenheit, die Bildung derselben sehr deutlich zu verfolgen. Im August und noch mehr im September fielen auf dem Faulhorne ungeheure Scheemassen, an manchen Stellen lag er neben dem Wirthshause mehr als 6 Fuß hoch. Der Schnee selbst bestand entweder aus regelmäßigen Krystallen oder Spießen, welche scheinbar von dem Mittelpunkte einer Kugel nach allen Seiten ausliefen. Es folgte nun einige Zeit schönes heiteres Wetter; obgleich das Thermometer sich selbst bei Tage im Schatten wenig vom Gefrierpunkte entfernte, wirkte doch die Sonne mit ungeheurer Mächtigkeit auf den Schnee, dieser war am ersten Tage etwa bis zur Tiefe eines Zolls mit Wasser durchdrungen. Am folgenden Morgen hatte sich eine unregelmäßige glänzende Eisrinde gebildet, die sich jedoch mit Leichtigkeit eindrücken ließ. Kaum aber hatte die Sonne einige Zeit darauf gewirkt, so war der Zusammenhang der Theile verschwunden, und bis zur Dicke einiger Linien lagen auf der Oberfläche des eigentlichen Schnees durchsichtige

Eiskügelchen von der Größe der Hirſenkörner. Mehrere Tage wiederholte ſich der Vorgang, aber dann war am Morgen die Eisrinde ſo feſt, daß ich darauf ſtehen konnte; die Firnkörner lagen mehrere Zoll hoch über dem Schnee, dabei hatten ſie an der Oberfläche die Größe kleiner Erbſen erlangt und wurden nach unten kleiner. Leider konnte ich den Vorgang nicht bis zu größerer Tiefe verfolgen, da neue Schneemaſſen die früheren bedeckten und nur eine Wiederholung des eben beſchriebenen Proceſſes zeigten.

» — — — Man denke ſich in den Alpen zwei Berge von mehr als 8000 Fuß Höhe, zwiſchen denen ein Thal mit Schnelligkeit in die Tiefe ſtürzt. Die bedeutenden Schneemaſſen des Winters werden theils durch Winde, theils durch Lawinen in das Thal geſtürzt; erſt ſpät im Frühling wird die Wärme in der Höhe ſo bedeutend, daß die Sonne auf den Schnee einzuwirken vermag. Das durch Schmelzen gebildete Waſſer dringt mit Schnelligkeit in die Zwiſchenräume zwiſchen den einzelnen Kryſtallen und füllt dieſe abwechſelnd mit kleinen Luftblaſen ganz aus. Wenn es in der folgenden Nacht friert, eine Erſcheinung, die ſich in dieſen Regionen den ganzen Sommer hindurch oft wiederholt, dann verbindet ſich das Waſſer mit den Schneeflocken, mit denen es in Berührung ſteht, letztere ſelbſt werden in Körner von durchſichtigem Eiſe verwandelt, die vorhandenen Luftblaſen ſind die Urſache, daß die ganze Oberfläche ſich nicht in eine compacte Maſſe verwandelt. Wiederholt ſich am folgenden Tage die Einwirkung der Sonne, ſo wird die Rinde bald aufgelockert, es werden einige Körner geſchmolzen, aber vorzugsweiſe die kleineren, welche ſich in Waſſer verwandeln, und dieſes verbindet ſich in der folgenden Nacht mit den noch übrig gebliebenen und vergrößert die Dimenſionen derſelben. War die im Winter angehäufte Schneemaſſe bedeutend und der nun folgende Sommer vielleicht nicht ſehr warm, ſo wird ſie nicht immer ganz geſchmolzen, ſondern nur in eine Firnmaſſe verwandelt, deren Größe durch den Schnee des nächſten Winters bedeutend vergrößert wird. Wiederholt ſich der Vorgang mehrere Jahre, ſo entſteht ein neuer Gletſcher, wie man dieſes in den Alpen öfter beobachtet hat. Dabei nehmen nach und nach die Dimenſionen der Eiskörner zu, und wenn auch noch immer die einzelnen derſelben durch Luftbläschen getrennt bleiben, ſo greifen die unregelmäßigen Erhöhungen einiger ſo in die Vertiefungen zwiſchen anderen, daß das Ganze eine compacte Maſſe bildet. Doch bleibt dieſer Körper nicht auf der Stelle, auf welcher er in dem engen Thale entſtand. Stand er zuerſt mit den Wänden deſſelben in Berührung, ſo wird der an den letzteren liegende Schnee bald weggeſchmolzen, das von den Höhen herabkommende Waſſer tritt ſtellenweiſe unter die Schnee- und Eismaſſe und zerſtört hier und da die Baſis derſelben theils durch eigentliches Schmelzen, theils durch mechaniſches Fortreißen. Das Ganze berührt nicht mehr allenthalben den Boden, Kanäle von unregel-

mäßiger Gestalt sind mit Wasser gefüllt, welches bald frei abfließt, bald durch losgerissene Eismassen sich selbst den Ausgang versperrt und nun einen Druck nach oben ausübt. Auch die obere Schneemasse sucht auf der häufig sehr geneigten Basis sich nach unten zu bewegen; so wird das auf einzelnen Füßen stehende Eis vielfach gedrängt, es entstehen Risse und Spalten, welche sich von oben nach unten erstrecken und in welche sich das Wasser stürzt, welches durch Einwirkung der Sonne auf der Oberfläche gebildet wird. Geschieht dieses erst, so wird die Basis noch mehr angegriffen, besonders scheint dieses dann der Fall zu seyn, wenn mehrere kalte Nächte folgen, wo das Wasser stellenweise gefriert, bei seiner Verwandlung in Eis sich ausdehnt und dadurch die schmalen Spalten wie ein eingetriebener Keil erweitert, während die zuerst genannten Ursachen besonders bei anhaltend warmem Wetter thätig sind. So arbeitet also Alles dahin, die Gletschermasse nach unten zu bewegen; zuerst wird sie in eine Menge einzelner Blöcke von größeren oder geringeren Dimensionen zerrissen, wobei sich ein donnerähnliches Getöse hören läßt, und diese Blöcke werden dann mit Leichtigkeit langsam fortgeschoben. Daher finden wir denn in den steilen Thälern diese ewigen Eismassen, während die begränzenden Bergwände mit kräftigen Wäldern und dem üppigsten Grün überzogen sind. Begreiflich aber wird es, daß diese Gletscher sich in ähnlich gebildeten Thälern desto mehr in die Tiefe erstrecken müssen, je höher die umliegenden Berge sich in die Region der Wolken erheben; hier sind die Schneemassen, welche durch Winde und Lawinen in die Tiefe geführt werden, größer, hier ist ferner der Druck des Schnees, so wie die Masse des unter dem Schnee wegfließenden Wassers bedeutender, die große Eismasse erfordert also längere Zeit zum gänzlichen Wegschmelzen, und so kann sie nach tiefer und wärmer liegenden Regionen kommen, ehe sie ganz verschwindet. Da das Eis am untern Ende der Gletscher eine große Reihe von Jahren hindurch die Wärme des Sommers, so wie die Kälte des Winters empfunden hat, so ist durch die häufige Wiederholung des partiellen Thauens und Gefrierens das Volumen der Krystalle so groß geworden, wie wir es unten beobachten.

»Da die Gletscher dem Gesagten zufolge nur locale Phänomene sind, da die Erfahrung ferner zeigt, daß ihr unteres Ende im Allgemeinen desto tiefer liegt, je höher die umgebenden Berge sind, so müssen wir sie bei der Bestimmung der Schneelinie ganz übersehen. Nur da, wo der Schnee auf kleinen Bergebenen und wenig geneigten Flächen noch am Ende des Sommers anfängt liegen zu bleiben, darf sie aufgesucht werden. — — —«

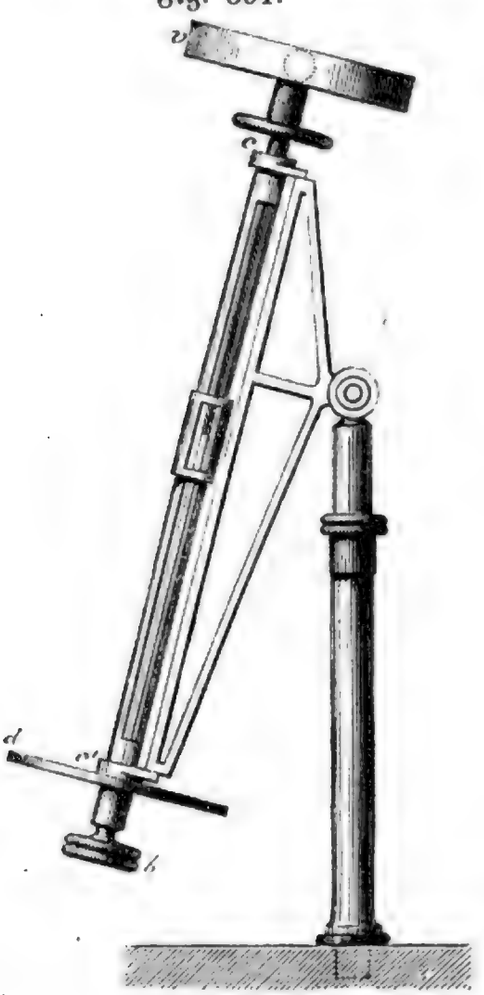
Wir haben bisher nur die Temperaturverhältnisse auf hohen Gebirgen selbst, aber nicht den Einfluß betrachtet, den diese Gebirge auf die benachbarten Ebenen ausüben. Dieser Einfluß ist aber unter Umständen sehr bedeutend; einen erwärmenden Einfluß üben sie durch die Reflexion der

Wärmestrahlen an den Bergabhängen und durch den Schutz aus, den sie oft gegen die herrschenden Winde gewähren; dagegen wirkt die Nähe hoher Gebirge abkühlend auf die Ebenen, indem sie das Niedersenken kalter Luftströmungen häufig verursachen und begünstigen. Dieser erkaltende Einfluß ist besonders merklich, wenn die Berghöhen mit Schnee bedeckt sind.

191 **Absorption der Wärmestrahlen durch die Atmosphäre.** Wenn man mit Hülfe einer Sammellinse Zunder durch Concentration der Sonnenstrahlen anzünden will, so wird man einen großen Unterschied finden, je nachdem man den Versuch Mittags anstellt, wo die Sonne hoch am Himmel steht, oder des Abends, wenn sie ihrem Untergange nahe ist; während sich der Schwamm des Mittags leicht entzündet, geschieht dieses am Abend entweder nur sehr schwierig, oder gar nicht; die Intensität der von der Sonne zu uns kommenden Wärmestrahlen ist also in diesen beiden Fällen ebenso ungleich wie die Intensität der Lichtstrahlen; Abends können wir die rothgelbe Scheibe der untergehenden Sonne wohl ansehen, Mittags aber wird das Auge durch den Glanz der Sonnenstrahlen geblendet.

Dieser Unterschied in der Intensität der Licht- und Wärmestrahlen, welche von der Sonne zu uns kommen, rührt offenbar daher, daß der Weg, welchen die Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre hindurch zurückzulegen haben, bedeutend größer ist, wenn die Sonne dem Horizonte nahe steht; je größer aber der Weg ist, den die Sonnenstrahlen in der Atmosphäre zurücklegen, desto mehr Licht und Wärme wird absorbirt werden.

Fig. 391.



Um annähernd die Wärmeabsorption in der Atmosphäre zu bestimmen, hat Herschel ein Instrument construirt, welches er Heliometer genannt hat. Pouillet gab diesem Instrumente folgende vervollkommnete Einrichtung.

Das cylindrische Gefäß v, Fig. 391, ist aus dünnem Silberblech gemacht, sein Durchmesser beträgt ungefähr 1 Decimeter, seine Höhe 14

bis 15 Millimeter, so daß es ungefähr 100 Gramm Wasser aufnehmen kann. In dem Gefäße befindet sich die Kugel eines Thermometers, dessen Röhre durch einen das Gefäß verschließenden Kork in eine hohle Metallröhre hineinragt; diese Metallröhre geht durch zwei Hülsen bei *c* und *c'*, so daß sie mit dem Gefäße *v* mittelst des Knopfes *b* beständig um ihre Axe gedreht werden kann; diese Umdrehung hat zum Zwecke, das Wasser im Gefäße *v* in beständiger Bewegung zu erhalten, damit sich die Wärme in demselben möglichst gleichförmig verbreitet.

Die obere Fläche des Gefäßes *v* ist mit Ruß sorgfältig geschwärzt. Die Scheibe *d* hat denselben Durchmesser wie das Gefäß *v*; richtet man also das Instrument so gegen die Sonne, daß der Schatten des Gefäßes *v* gerade auf die Scheibe *d* fällt, so kann man sicher seyn, daß die Sonnenstrahlen die vordere Fläche des Gefäßes rechtwinklig treffen.

Wenn die geschwärzte Oberfläche des Instrumentes rechtwinklig von den Sonnenstrahlen getroffen wird, so steigt die Temperatur des Wassers in *v* über die der Umgebung.

Wenn das Gefäß *v* sich erwärmt, so verliert es auch Wärme, theils durch Strahlung gegen den Himmelsraum, theils an die Umgebung. Wenn ein solcher Verlust nicht stattfände, so würde die durch den wärmenden Einfluß der Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung des Gefäßes *v* jedenfalls bedeutender seyn als die, welche man beobachtet; um aber auf die Wärme schließen zu können, welche dem Instrumente wirklich durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, ist deshalb an den beobachteten Temperaturerhöhungen eine Correction anzubringen. Der Versuch wird deshalb in folgender Weise angestellt.

Wenn das Wasser in dem Gefäße die Temperatur der umgebenden Luft hat, wird das Instrument nahe an dem Orte, wo man es den Sonnenstrahlen aussetzen will, im Schatten aufgestellt, und zwar so, daß die Wärme von der berußten Fläche frei gegen den Himmel ausstrahlen kann. Man beobachtet nun 4 Minuten lang die Erkaltung; in der folgenden Minute bringt man einen Schirm vor die schwarze Fläche und richtet dann den Apparat so, daß die Sonnenstrahlen rechtwinklig einfallen, wenn man am Ende der 5ten Minute den Schirm wegnimmt. Während der folgenden 5 Minuten beobachtet man die durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, indem man das Wasser des Gefäßes *v* in beständiger Bewegung erhält; am Ende der 10ten Minute setzt man den Schirm wieder vor, zieht den Apparat an seine frühere Stelle zurück und beobachtet dann die während der folgenden 5 Minuten stattfindende Erkaltung.

Es sey *g* die in 5 Minuten durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, *r* und *r'* die Temperaturabnahme, welche der Apparat

in den 5 vorhergehenden und in den 5 folgenden Minuten erleidet, ſo iſt die Temperaturerhöhung t, welche durch die Sonnenſtrahlen hervorgebracht ſeyn würde, wenn kein Wärmeverluſt ſtattgefunden hätte,

$$t = g + \frac{r + r'}{2}.$$

Die folgende Tabelle enthält die Reſultate von 5 Beobachtungsreihen, welche Pouillet mit dem Heliometer angeſtellt hat.

Beobachtungsſtunden.	Dicke der durchlaufenen Luftſchicht.	Beobachtete Temperaturerhöhung.	Berechnete Temperaturerhöhung.	Unterſchiede.
		Am 28. Juni 1837.		
7 U. 30′ Morgens	1,860	3°80	3°69	+ 0,11
10 U. 30′ »	1,164	4,00	4,62	— 0,62
Mittag	1,107	4,70	4,70	0
1 U.	1,132	4,65	4,67	— 0,02
2	1,216	4,60	4,54	+ 0,06
3	1,370	»	4,32	»
4	1,648	4,00	3,95	+ 0,05
5	2,151	»	3,36	»
6	3,165	2,40	2,42	— 0,02
		Am 27. Juli 1837.		
Mittag	1,147	4,90	4,90	0
1 U.	1,174	4,85	4,86	— 0,01
2	1,266	4,75	4,74	+ 0,01
3	1,444	4,50	4,51	— 0,01
4	1,764	4,10	4,13	— 0,03
5	2,174	3,50	3,49	+ 0,01
6	3,702	3,35	3,42	— 0,07
		Vom 22. September 1837.		
Mittag	1,507	4,60	4,60	0
1 U.	1,559	4,50	4,54	— 0,04
2	1,723	4,30	4,36	— 0,06
3	2,102	4,00	3,97	+ 0,03
4	2,898	3,10	3,24	— 0,14
5	4,992	»	1,91	»

Beobachtungsstunden.	Dicke der durchlaufenen Luftschicht.	Beobachtete Temperaturerhöhung.	Berechnete Temperaturerhöhung.	Unterschiede.
		Am 4. Mai 1838.		
Mittag	1,191	4,80	4,80	0
1 U.	1,223	4,70	4,76	— 0,06
2	1,325	4,60	4,62	— 0,02
3	1,529	4,30	4,36	— 0,06
4	1,912	3,90	3,92	— 0,02
5	2,603	3,20	3,22	— 0,02
6	4,311	1,95	1,94	+ 0,01
		Am 11. Mai 1838.		
11 U.	1,193	5,05	5,06	— 0,01
12	1,164	5,10	5,10	0
1	1,193	5,05	5,06	— 0,01
2	1,288	4,85	4,95	— 0,10
3	1,473	4,70	4,73	— 0,03
4	1,812	4,20	4,37	— 0,17
5	2,465	3,65	3,67	— 0,02
6	3,943	2,70	2,64	+ 0,06

Die erste Columne dieser Tabelle enthält die Beobachtungsstunden, die zweite die Dicke der von den Sonnenstrahlen durchlaufenen Luftschicht, die vertikale Höhe der Atmosphäre gleich 1 gesetzt; die dritte enthält die beobachtete, die vierte die von Pouillet nach einer Formel, von der sogleich die Rede seyn wird, berechnete Temperaturerhöhung des Wassers im Heliometer.

Aus dieser Tabelle sehen wir nun zunächst, daß die Sonnenstrahlen um so mehr an wärmender Kraft verlieren, je weiter der Weg ist, welchen sie in der Atmosphäre zurückzulegen haben. Betrachten wir z. B. die Beobachtungen vom 11. Mai 1838, so finden wir, daß um 1 Uhr Nachmittags die Temperaturerhöhung 5,05° betrug, um 5 Uhr, wo die Dicke der durchlaufenen Luftschicht ungefähr doppelt so groß war, betrug die Temperaturerhöhung nur 3,65°, sie war also um 1,4° geringer; für die dreifache Dicke der Luftschicht, ungefähr um 6 Uhr Abends, war die Temperaturerhöhung nur 2,7°, also abermals um 0,9° geringer.

Man sieht daraus, daß die wärmende Kraft der Sonnenstrahlen in einem etwas weniger raschen Verhältnisse abnimmt, als die Dicke der durchlaufenen Luftschicht wächst.

Es fragt ſich nun, ob man aus ſolchen und ähnlichen Verſuchen ein Geſetz für die Abſorption der Wärmeſtrahlen in der Luft in der Weiſe ableiten kann, daß ſich daraus die abſolute Größe der atmoſphäriſchen Abſorption ergiebt, daß man danach die Temperaturerhöhung berechnen kann, welche das Waſſer im Heliometer erfahren würde, wenn man das Inſtrument an die Gränze der Atmoſphäre bringen könnte.

Pouillet hat gefunden, daß ſich die Formel

$$t = a\, p^{\varepsilon}$$

recht gut den Beobachtungen anſchließt, wenn man für a immer den conſtanten Werth 6,72, für p aber einen Werth ſetzt, der von einem Tage zum andern ſich ändert. Dieſer Werth von p iſt nach den Beobachtungen vom

28. Juni . . .	0,7244
27. Juli . . .	0,7585
22. September .	0,7780
4. Mai . . .	0,7556
11. Mai . . .	0,7888.

Für ε iſt die jedesmalige Dicke der durchlaufenen Luftſchicht zu ſetzen, wie ſie in der zweiten Columne ſteht; nach dieſer Formel ſind die Werthe der vierten Columne berechnet.

Pouillet ſchließt nun weiter, daß, wenn man in dieſer Formel $\varepsilon = o$ ſetzt, man die Temperaturerhöhung erhalten müſſe, welche das Heliometer an der Gränze der Atmoſphäre oder in dem Falle erfahren würde, daß die Atmoſphäre keine Wärmeſtrahlen abſorbirte. Man erhält für $\varepsilon = o$

$$t = a = 6{,}72.$$

An der Gränze der Atmoſphäre würde demnach die Temperatur des Inſtrumentes um $6{,}72^0$ über die Temperatur der Umgebung ſteigen. Es werden demzufolge ſelbſt am Mittag an ganz heiteren Tagen ungefähr $1/3$ der von der Sonne kommenden Wärmeſtrahlen von der Atmoſphäre abſorbirt; wenn der Himmel bewölkt oder nur mit einem Schleier überzogen iſt, muß die Wärmeabſorption in der Luft noch viel bedeutender ſeyn.

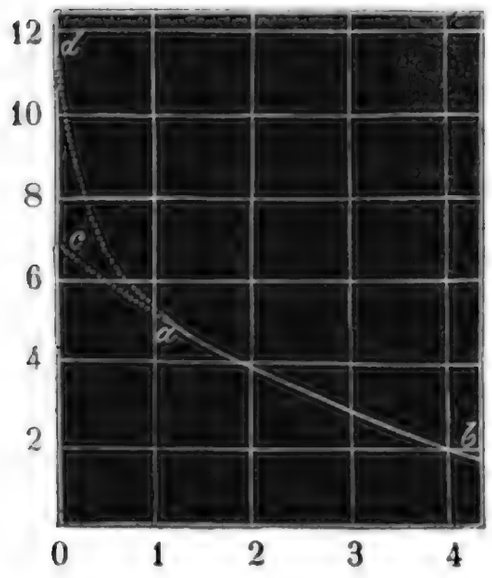
Dieſes Reſultat kann jedoch kaum als ein annähernd richtiges angeſehen werden, wie ſich aus folgender Betrachtung ergiebt.

Wir haben oben, Seite 427, geſehen, daß, wenn Wärmeſtrahlen auf ein abſorbirendes Mittel fallen, in den erſten Schichten eine ſtärkere Abſorption ſtattfindet als in den folgenden. Die Wärmemengen, welche durch eine Glasplatte von 3, von 5 und von 7 Millim. Dicke gehen, verhalten ſich zueinander, wenn als Wärmequelle die Locatelli'ſche Lampe dient, wie 65,3 : 62 : 60. Geſetzt nun, man hätte nur mit dieſen drei Platten Verſuche angeſtellt, man wüßte aber nicht, welches die directe Wirkung der Wärme-

quelle ist, könnte man sie wohl mit einiger Sicherheit aus diesen drei Versuchen ableiten? Gewiß nicht! Hier aber haben wir genau denselben Fall.

Die Kurve *a b*, Fig. 392, stellt das Gesetz dar, nach welchem die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen abnimmt, wenn die Dicke der Luftschicht wächst. Die Kurve ist nach den am 4. Mai 1838 Mittags 4, 5 und 6 Uhr gemachten Beobachtungen construirt, die Dicken der durchlaufenen Luftschichten sind als Abscissen, die entsprechenden Temperaturerhöhungen als Ordinaten aufgetragen. Um zu finden, wie groß die Temperaturerhöhung an der Gränze der Atmosphäre seyn würde, muß man die Kurve auch noch jenseits *a*, nach der Ordinate *o* hin, so verlängern, wie das Kurvenstück innerhalb *a b* andeutet, d. h. so, daß das angesetzte Kurvenstück mit dem schon vorhandenen eine continuirliche krumme Linie bildet; auf diese Weise ist die Kurve bis *c* fortgesetzt, und danach wäre denn allerdings die Temperaturerhöhung an der Gränze der Atmosphäre 6,7°; allein wir können die Kurve *b a* auch noch auf andere Weise fortsetzen, wir können sie nach *d* führen, und die Kurve *d a b* würde immer noch eine continuirliche krumme Linie seyn; und wenn dieser Lauf der Kurve das wahre Verhältniß darstellte, so würde die Temperaturerhebung an der Gränze der Atmosphäre 12° seyn, in diesem Falle würden selbst am Mittage weit mehr als die Hälfte aller von der Sonne zur Erde kommenden Wärmestrahlen von der Atmosphäre absorbirt. Eines ist so gut möglich wie das andere, der Lauf der Kurve innerhalb *a b* enthält nicht Bestimmungsstücke genug, um sie außerhalb dieser Gränzen mit Sicherheit fortsetzen zu können.

Fig. 392.



Wenn man eine Formel ausfindig macht, welche sich wie die Pouillet'sche den Beobachtungen ziemlich gut anschließt, so folgt daraus noch nicht, daß sie den wahren Zusammenhang darstellt; man kann noch viele andere Formeln ausfindig machen, welche eben so gut, vielleicht auch noch besser, zu den Beobachtungen passen und welche doch für den Fall, daß man die Dicke der durchlaufenen Luftschicht gleich Null setzt, ganz andere Werthe für die Temperaturerhöhung an der Gränze der Atmosphäre geben.

Solche Formeln sind ganz zweckmäßig, um innerhalb der Beobachtungsgränze Zwischenwerthe zu berechnen, über diese Gränzen hinaus kann man sie jedoch nicht mehr mit Sicherheit gebrauchen. Hätte man z. B. für ver-

schiedene Temperaturen zwischen 8^0 und 20^0 die Dichtigkeit des Wassers mit der größten Genauigkeit bestimmt, hätte man für die Abhängigkeit zwischen der Temperatur und der Dichtigkeit eine Formel construirt, welche sich den Beobachtungen sehr gut anschließt, so würde sich aus denselben doch wohl schwerlich beweisen lassen, daß das Wasser bei 4^0 ein Dichtigkeitsmaximum hat, wenn man es nicht schon zum Voraus gewußt hätte.

Aus der Betrachtung der Fig. 392 zeigt sich, daß man die Kurve von *a* aus nicht wohl zu einem tieferen Punkte der Ordinate *o* führen kann als zum Punkte *c*, daß also die Wärmeabsorption in der Atmosphäre wenigstens so groß ist wie Pouillet gefolgert hat, d. h. daß also selbst für große Sonnenhöhen wenigstens $\frac{1}{3}$ aller von der Sonne nach der Erde kommenden Wärmestrahlen von der Atmosphäre absorbirt werden.

Pouillet berechnet in der Voraussetzung, daß die Temperaturerhöhung des Heliometers in 5 Minuten wirklich $6{,}72^0$ betragen würde, wenn die Atmosphäre keine Wärmestrahlen absorbirte, die Wärmequantität, welche in der angegebenen Zeit dem Instrumente durch die Sonnenstrahlen zugeführt würde; daraus schließt er weiter auf die Wärmemenge, welche überhaupt von der Sonne auf die Erde gelangt, und kommt so zu dem Resultate, daß, wenn die Wärmemenge, welche die Sonne im Laufe eines Jahres auf die Erde sendet, auf derselben gleichförmig vertheilt wäre und daß sie ohne Verlust zum Eisschmelzen verwendet würde, daß sie alsdann im Stande wäre, eine die Erde einhüllende Eisschicht von 31 Metern Dicke zu schmelzen; und ferner, daß, wenn die Sonne ringsum von Eis umgeben wäre, und alle von ihr ausgehende Wärme ausschließlich verwendet würde, um dieses Eis zu schmelzen, daß alsdann in einer Minute eine Schicht von 12 Metern Dicke weggeschmolzen werden würde.

Da die Grundlage der Betrachtungen und Rechnungen, durch welche Pouillet zu diesem Resultate gelangte, zu schwankend ist, so ist wohl eine nähere Erörterung derselben überflüssig.

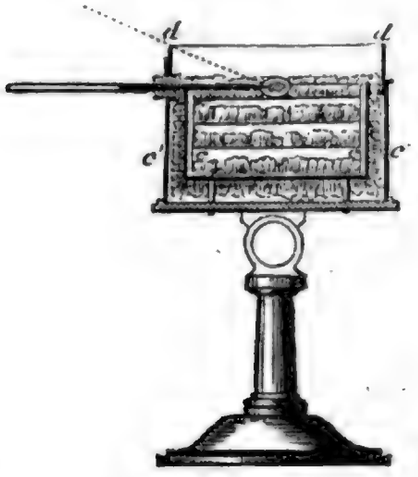
192 **Eigene Wärme der Erde und Temperatur des Weltraums.** Obgleich alle Wärme auf der Erdoberfläche nur von der Sonne kommt, so hat doch die Erde auch ihre eigenthümliche Wärme, wie aus der Temperaturzunahme folgt, welche man in großen Tiefen beobachtet hat. Wenn die Wärme nach dem Mittelpunkte der Erde hin auch in größerer Tiefe noch in dem Maaße zunimmt, welche uns diese Beobachtungen zeigen, so müßte schon in einer Tiefe von 3200 Metern die Temperatur des siedenden Wassers herrschen, im Mittelpunkte der Erde aber müßten alle Körper glühend und im geschmolzenen Zustande sich befinden. Daß wir von dieser ungeheuren Hitze im Innern der Erde auf der Oberfläche nichts

merken, läßt sich durch das schlechte Leitungsvermögen der erkalteten Erdkruste erklären, welche diesen glühenden Kern einschließt.

Auch der Weltraum hat seine eigenthümliche Temperatur, und es hat nicht an Versuchen gefehlt, dieselbe zu bestimmen. Nach Fourier ist die Temperatur des Weltraums — 50° bis — 60°, Arago aber hat darauf aufmerksam gemacht, daß sie jedenfalls bedeutend geringer seyn muß, da man ja auf dem Fort Reliance in Nordamerika eine Temperatur von — 56,7° beobachtet hat. Eine so starke Temperaturerniedrigung wäre auf der Erde nicht möglich, wenn die Temperatur des Weltraums nicht bedeutend geringer wäre.

Die Erkaltung der Erdoberfläche durch die nächtliche Strahlung ist eine Folge davon, daß die Körper auf der Erdoberfläche gegen diesen kalten Weltraum ausstrahlen. Um die Gesetze der nächtlichen Strahlung zu ermitteln, hat Pouillet ein Instrument construirt, welches er Actinometer nennt und welches Fig. 393 dargestellt ist. Es besteht aus einem Thermometer, welches in einem Metallcylinder horizontal in solcher Weise angebracht ist, daß durch Schwanenfedern jede Wärmezuleitung von unten und von der Seite her gehindert wird. Wenn dieser Apparat in einer heitern Nacht ins Freie gestellt wird, so muß das Thermometer natürlich bedeutend unter die Temperatur der umgebenden Luft sinken. Die folgende Tabelle enthält einige Resultate, welche Pouillet mit diesem Instrumente erhalten hat.

Fig. 393.



Tage	Stunden	Temperatur der Luft	Temperatur des Actinometers	Unterschiede	Tage	Stunden	Temperatur der Luft	Temperatur des Actinometers	Unterschiede
		Vom 20. bis 21. April					Vom 5. bis 6. Mai		
20. April	8 U. Abds.	5,6	— 0,8	6,4	5. Mai	5 U. Abds.	25,5	19,9	5,6
	9	4,5	— 2 0	6.5		6	25,1	17,5	7,6
	10	3,6	— 3,0	6,6		7	23,1	15,0	8,1
21. »	4½ Morg.	0,0	— 7,0	7,0		8	22,9	13,9	9,0
	5	0,0	— 7,0	7,0		9	21,5	12,5	9,0
	5½	0,1	— 6,5	6,6		10	17,5	10	7,5
					6. »	4 Morg.	12,1	5	7,1
						4½	12,1	5	7,1
						5	12	6	6,0

Diese Versuche zeigen uns, daß die Temperatur des Actinometers fast in derselben Weise abnimmt, wie die Temperatur der Luft, daß also bei niedriger Lufttemperatur eine eben so starke Strahlung gegen den Himmelsraum stattfindet wie bei hoher. So fanden auch Wells und Daniell eine durch die nächtliche Strahlung bewirkte Temperaturerniedrigung von 7 bis 8° unter die Temperatur der Luft; Wilson beobachtete einen Unterschied von fast 9° zwischen der Temperatur der Schneeoberfläche und der Luft, Scoresby und Parry haben in den Polargegenden ähnliche Beobachtungen bei einer Lufttemperatur von — 20° gemacht. Dies beweis't nun, daß die Temperatur des Weltraums sehr gering seyn muß, denn sonst müßte der Einfluß der nächtlichen Strahlung bei niedriger Temperatur geringer seyn als bei hoher.

Pouillet hat die Temperatur des Weltraums zu — 142° bestimmt; da jedoch die Schlüsse, durch welche er zu diesem Resultate gelangte, sehr gewagt sind; da ihre Grundlage höchst unsicher ist, so mag hier die Anführung dieses Resultates genügen.

Zweites Kapitel.

Vom atmosphärischen Druck.

193 **Correctionen der Barometerbeobachtungen.** Wir haben schon früher bei der Lehre vom Barometer gesehen, daß die Luft in Folge ihrer Schwere auf alle Gegenstände der Erdoberfläche drückt, welche gleichsam den Grund, den Boden dieses Luftmeeres bildet; wir haben auch gesehen, daß man die Größe dieses Luftdruckes mit Hülfe des Barometers messen kann, daß uns das Barometer angiebt, wie hoch eine Quecksilbersäule ist, welche dem atmosphärischen Drucke das Gleichgewicht hält.

Da das Quecksilber sich ausdehnt, wenn es erwärmt wird, da also seine Dichtigkeit um so geringer wird, je mehr seine Temperatur steigt, so ist klar, daß zwei Quecksilbersäulen von ungleicher Temperatur auch ungleiche Höhe haben müssen, wenn sie sich einander das Gleichgewicht halten sollen, daß derselbe Luftdruck eine höhere Säule von warmem als von kaltem Quecksilber tragen kann; wenn uns also die Höhe der Barometersäule ein richtiges Maaß des Luftdruckes geben soll, so müssen wir die Temperatur des Quecksilbers kennen, und um verschiedene Barometerbeobachtungen vergleichen zu können, müssen wir sie immer auf dieselbe Temperatur reduciren.

Um die verschiedenen Barometerbeobachtungen vergleichbar zu machen, ist man übereingekommen, die Höhe der Barometerhöhe stets auf 0^0 zu reduciren, d. h. nach der beobachteten Höhe des Barometers und der Temperatur des Queckſilbers zu berechnen, welches die Barometerhöhe gewesen seyn würde, wenn das Queckſilber die Temperatur von 0^0 gehabt hätte.

Bei einer Temperaturerhöhung von 1^0 C. dehnt sich das Queckſilber um 0,00018 seines Volumens bei 0^0 aus; bei einer Temperatur von t Graden ist es also $1 + 0{,}00018\,t$mal leichter als bei 0^0; eine Queckſilbersäule von t^0, welche die Höhe h hat, wird demnach einer Queckſilbersäule von 0^0 und der Höhe $\frac{h}{1 + 0{,}00018t}$ das Gleichgewicht halten; wenn man also bei einer Temperatur von t^0 das Barometer beobachtet hat, so reducirt man den beobachteten Barometerstand auf 0^0, wenn man ihn durch $1 + 0{,}00018\,t$ dividirt.

Hätte man z. B. bei einer Temperatur von 20^0 eine Barometerhöhe von $764{,}4^{mm}$ beobachtet, so würde bei unverändertem Luftdrucke und einer Temperatur von 0^0 die Höhe der Queckſilbersäule nur $\frac{764{,}4}{1{,}0036} = 761{,}65^{mm}$ betragen. Wenn also ein Barometer in einem Zimmer, dessen Temperatur 0^0 ist, auf $761{,}65^{mm}$ steht, so würde man gleichzeitig an demselben Barometer in einem geheizten Zimmer, dessen Temperatur 20^0 ist, $764{,}4^{mm}$ ablesen.

Wir haben bisher die Ausdehnung der Scala, auf welcher man die Barometerhöhe ablies't, ganz unberücksichtigt gelassen. Wäre diese Scala aus einem Material verfertigt, welches sich in demselben Verhältnisse ausdehnt wie das Queckſilber, so wäre die Ausdehnung des Queckſilbers durch die der Scala von selbst corrigirt worden; da sich jedoch die Scala weit weniger ausdehnt als das Queckſilber, so muß man ihre Ausdehnung noch besonders in Rechnung bringen. Wenn die Barometerscala auf Glas geätzt ist, so kann man ihre Ausdehnung unberücksichtigt lassen, bei einer messingenen Scala darf sie jedoch nicht vernachlässigt werden. Um weitläufige Reductionsrechnungen zu vermeiden, hat man Tabellen berechnet, mit Hülfe deren die Reduction jederzeit leicht ausführbar ist. Die folgende Reductionstabelle ist von Deleros für den Fall berechnet, daß die Theilung auf Messing gemacht ist.

Barometerhöhe.	Ausdehnung der Queckſilber-Säule.								
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
600	0,097	0,194	0,290	0,387	0,484	0,581	0,678	0,775	0,872
05	0,098	0,195	0,293	0,391	0,488	0,586	0,683	0,781	0,879
10	0,098	0,197	0,295	0,394	0,492	0,591	0,689	0,788	0,886
15	0,099	0,198	0,298	0,397	0,496	0,596	0,695	0,794	0,893
20	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,901
25	0,101	0,202	0,303	0,403	0,504	0,605	0,706	0,807	0,908
30	0,102	0,203	0,305	0,407	0,508	0,610	0,712	0,813	0,915
35	0,102	0,205	0,307	0,410	0,512	0,615	0,717	0,820	0,922
40	0,103	0,207	0,310	0,413	0,516	0,620	0,723	0,826	0,930
45	0,104	0,208	0,312	0,416	0,520	0,625	0,729	0,833	0,937
50	0,105	0,210	0,315	0,420	0,524	0,629	0,734	0,839	0,944
55	0,106	0,211	0,317	0,423	0,529	0,634	0,740	0,846	0,951
660	0,106	0,213	0,320	0,426	0,533	0,639	0,746	0,852	0,959
65	0,107	0,215	0,322	0,429	0,537	0,644	0,751	0,859	0,966
70	0,108	0,216	0,324	0,433	0,541	0,649	0,757	0,865	0,973
75	0,109	0,218	0,327	0,436	0,545	0,654	0,763	0,871	0,980
80	0,110	0,219	0,329	0,439	0,549	0,658	0,768	0,878	0,988
85	0,111	0,221	0,332	0,442	0,553	0,663	0,774	0,884	0,995
90	0,111	0,223	0,334	0,445	0,557	0,668	0,780	0,891	1,002
95	0,112	0,223	0,336	0,449	0,561	0,673	0,785	0,897	1,010
700	0,113	0,226	0,339	0,452	0,565	0,678	0,791	0,904	1,017
05	0,113	0,228	0,341	0,455	0,569	0,683	0,797	0,910	1,024
10	0,115	0,229	0,344	0,458	0,573	0,688	0,802	0,917	1,031
15	0,115	0,231	0,346	0,462	0,577	0,691	0,808	0,923	1,039
20	0,116	0,232	0,349	0,465	0,581	0,697	0,813	0,930	1,046
25	0,117	0,234	0,351	0,468	0,585	0,702	0,819	0,936	1,053
30	0,118	0,236	0,353	0,471	0,589	0,707	0,825	0,943	1,060
35	0,119	0,237	0,356	0,474	0,593	0,712	0,830	0,949	1,068
40	0,119	0,239	0,358	0,478	0,597	0,717	0,836	0,955	1,075
45	0,120	0,240	0,361	0,481	0,601	0,721	0,842	0,962	1,082
50	0,121	0,242	0,363	0,484	0,605	0,726	0,847	0,968	1,089
55	0,121	0,244	0,365	0,487	0,609	0,731	0,853	0,975	1,097
60	0,123	0,245	0,368	0,491	0,613	0,736	0,859	0,981	1,104
65	0,124	0,247	0,370	0,494	0,617	0,741	0,864	0,988	1,111
70	0,124	0,249	0,373	0,497	0,621	0,746	0,870	0,994	1,118
75	0,125	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	0,876	1,001	1,126
80	0,126	0,252	0,378	0,504	0,629	0,755	0,881	1,007	1,133
85	0,127	0,253	0,380	0,507	0,633	0,760	0,888	1,014	1,140
90	0,127	0,255	0,382	0,510	0,637	0,765	0,893	1,020	1,148
95	0,128	0,257	0,385	0,513	0,641	0,770	0,898	1,026	1,155
800	0,129	0,258	0,387	0,516	0,646	0,775	0,904	1,033	1,162

Der Gebrauch dieſer Tabelle iſt ganz einfach. Nehmen wir an, das Barometer ſtehe auf 750^{mm}, das an demſelben befeſtigte Thermometer zeige aber eine Temperatur von 8°, ſo hat man 0,968 von 750 abzuziehen, die corrigirte Barometerhöhe iſt alſo 749,032^{mm}. Wäre die beobachtete Barometerhöhe aber 745^{mm} geweſen, ſo hat man von 745 abzuziehen:

für 20^0 $10 \times 0{,}240 = 2{,}4$
für 3^0 $0{,}361$
für $0{,}7^0$ $\frac{0{,}842}{10}$ $= 0{,}084$

zusammen also 2,845

Die corrigirte Barometerhöhe wäre demnach 743,155^{mm}.

Für Barometerhöhen, welche zwischen den von 5 zu 5 Millimetern fortschreitenden Zahlen der ersten Columne liegen, kann man ohne merklichen Fehler die den verschiedenen Temperaturen entsprechenden Zahlen der nächst höheren Horizontalreihe nehmen. Wäre z. B. die Barometerhöhe 748, die Temperatur aber 9^0, so hat man von 748 die Zahl 1,082 abzuziehen.

Wenn das am Barometer befestigte Thermometer unter 0^0 steht, so hat man die entsprechenden Zahlen nicht abzuziehen, sondern zu addiren.

Eine zweite Correction ist von allen Beobachtungen, welche an Gefäßbarometern angestellt worden sind, wegen der Capillardepression in der Röhre anzubringen. Die folgende Tabelle enthält die Werthe dieser Depression für Röhren von verschiedenem Durchmesser.

Innerer Durchmesser der Röhre	Depression	Differenzen	Innerer Durchmesser der Röhre	Depression	Differenzen
mm	mm	mm	mm	mm	mm.
21,00	0,028		11,50	0,293	
		0,004			0,037
20,50	0,032		11,00	0,330	
		0,004			0,042
20,00	0,036		10,50	0,372	
		0,005			0,047
19,50	0,041		10,00	0,419	
		0,006			0,054
19,00	0,047		9,50	0,473	
		0,006			0,061
18,50	0,053		9,00	0,534	
		0,007			0,070
18,00	0,060		8,50	0,604	
		0,008			0,080
17,50	0,068		8,00	0,684	
		0,009			0,091
17,00	0,077		7,50	0,775	
		0,010			0,102
16,50	0,087		7,00	0,877	
		0,012			0,118
16,00	0,099		6,50	0,995	
		0,013			0,141
15,50	0,112		6,00	1,136	
		0,015			0,170
15,00	0,127		5,50	1,306	
		0,016			0,201
14,50	0,143		5,00	1,507	
		0,018			0,245
14,00	0,161		4,50	1,752	
		0,020			0,301
13,50	0,181		4,00	2,053	
		0,023			0,362
13,00	0,204		3,50	2,415	
		0,026			0,487
12,50	0,230		3,00	2,902	
		0,030			0,692
12,00	0,260		2,50	3,595	
		0,033			0,985
11,50	0,293		2,00	4,579	

199 **Tägliche Variationen des Barometers.** Wenn man in unſeren Gegenden einige Zeit lang mehrmals täglich das Barometer beobachtet, ſo ſind die oft ſehr bedeutenden Schwankungen ſo unregelmäßig, daß man auf den erſten Anblick durchaus keine periodiſchen Veränderungen wahrnehmen kann, während ſelbſt aus ganz rohen Beobachtungen des Thermometers ſich alsbald ſowohl eine tägliche als eine jährliche Periode im Gange der Temperatur nachweiſen läßt.

Schon im erſten Bande iſt angeführt worden, daß in den Tropen die zufälligen Schwankungen des Barometers ungleich geringer ſind als in den höheren Breiten, daß dagegen zwiſchen den Wendekreiſen eine tägliche Periode der Barometerſchwankungen ſich entſchieden ausſpricht; hier reicht es hin, das Barometer nur einen oder zwei Tage lang zu beobachten, um die täglichen Variationen zu conſtatiren.

Es fragt ſich nun, ob in höheren Breiten wirklich gar keine periodiſchen Barometerſchwankungen ſtattfinden, oder ob ſie nur durch die weit bedeutenderen zufälligen Schwankungen markirt ſind. Um entſcheiden zu können, ob mitten in den beſtändig ſtattfindenden zufälligen Schwankungen des Barometers ſich nicht auch ein periodiſches Steigen und Fallen geltend macht, muß man die Mittelzahlen einer großen Reihe von Barometerbeobachtungen mit einander vergleichen, welche regelmäßig zu beſtimmten Stunden des Tages angeſtellt worden ſind. Wenn man jedoch einen Monat lang das Barometer an mehreren beſtimmten Stunden des Tages beobachtet und das Mittel aus allen zu derſelben Stunde gemachten Beobachtungen nimmt, ſo reicht dies hin, um die Exiſtenz einer täglichen Periode der Barometerſchwankungen auch für unſere Gegenden zu beweiſen. Die folgende Tabelle enthält die Reſultate einer 20jährigen von Bouvard auf der Sternwarte zu Paris angeſtellten Reihe von Barometerbeobachtungen; ſie giebt die auf 0^{0} reducirten Barometerſtände in Millimetern an. Die Beobachtungsſtunden waren 9 Uhr Morgens, 12 Uhr Mittags, 3 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends.

Jahr.	Höchster Stand		Tiefster Stand		Mittlere Barometerstände				
	H. St.	Tag. Monat.	T. St.	Tag. Monat.	9 Uhr.	12 Uhr.	3 Uhr.	9 Uhr.	Mittel.
1819	70,89	1. Jan.	38,00	1. März	5,104	4,863	4,389	4,789	4,786
1820	72,60	9. »	26,33	24. »	6,077	5,838	5,352	5,712	5,745
1821	80,82	6. Febr.	15,54	24. Dec.	5,986	5,755	5,285	5,764	5,697
1822	75,93	27. »	34,60	2. »	7,437	7,158	6,591	7,020	7,052
1823	72,23	7. Dec.	22,34	2. Febr.	5,033	4,796	4,353	4,633	4,704
1824	73,24	27. Mai	28,66	12. Oct.	5,817	5,567	5,072	5,385	5,460
1825	76,35	10. Jan.	26,82	10. Nov.	7,742	7,430	6,873	6,962	7,252
1826	74,79	17. »	31,53	13. »	7,367	7,047	6,509	6,868	6,948
1827	73,48	28. Dec.	33,50	4. März.	6,211	5,995	5,484	5,847	5,884
1828	71,10	12. »	30,54	21. Febr.	6,306	6,084	5,616	5,982	5,997
1829	73,46	3. Febr.	34,68	7. Oct.	5,377	5,107	4,641	5,145	5,068
1830	71,90	1. Jan.	29,42	9. Dec.	5,918	5,691	5,255	5,722	5,646
1831	72,40	8. »	33,80	30. April	5,356	5,157	4,676	5,176	5,091
1832	71,02	4. April	38,05	30. »	7,893	7,548	7,025	7,597	7,515
1833	74,04	8. Jan.	30,68	1. »	5,790	5,508	4,988	5,521	5,452
1834	72,00	27. Dec.	39,46	10. Jan.	9,014	8,650	8,073	8,690	8,607
1835	76,63	2. Jan.	30,16	10. Oct.	7,270	6,990	6,494	7,114	6,967
1836	75,81	2. »	24,00	28. März.	5,363	5,038	4,578	5,165	5,036
1837	72,41	14. Oct.	37,74	13. Sept.	6,686	6,381	5,861	6,360	6,322
1838	72,31	31. Dec.	28,88	25. Febr.	4,679	4,365	3,896	4,355	4,324
1839	71,53	1. Jan.	35,77	20. »	5,386	5,102	4,631	5,048	5,041
1840	72,37	11. »	31,70	4. »	6,492	6,135	5,628	6,198	6,113
Mittel	73,51	14. »	31,01	19. Jan.	6,287	6,009	5,512	5,957	5,941

Die erste Columne dieser Tabelle enthält die Angabe der Beobachtungsjahre; dann folgt die Angabe des in jedem Jahre beobachteten höchsten und tiefsten Barometerstandes, und zwar ist hier der Abkürzung wegen 700, bei den mittleren Barometerständen aber 750 weggelassen; so steht z. B. in der Columne »höchster Stand« bei 1835 die Zahl 76,63, der höchste im Jahre 1835 beobachtete Barometerstand war also 776,63 Millimeter. Die für eine jede Beobachtung angegebenen Mittelzahlen sind das Mittel aus allen zu dieser Stunde im Laufe eines Jahres gemachten Beobachtungen; so ist z. B. 754,389 das Mittel aus allen im Laufe des Jahres 1819 um 3 Uhr Nachmittags beobachteten Barometerständen.

Man sieht aus dieser Tabelle, daß die für die verschiedenen Beobachtungsstunden gefundenen jährlichen Mittel ungleich sind; sie haben durchgängig den höchsten Werth für 9 Uhr Morgens, den niedrigsten um 3 Uhr Nachmittags; es spricht sich darin entschieden ein periodisches Sinken und Steigen aus; die nichtperiodischen Schwankungen unberücksichtigt gelassen, sinkt demnach das Barometer ungefähr von 9 Uhr Morgens bis 3 Uhr Nachmittags, um dann wieder zu steigen. Um 9 Uhr Morgens steht das Barometer im Durchschnitt um 0,775 Millimeter höher als um 3 Uhr Nachmittags.

Die Amplitude der periodischen Schwankungen ist dieser Tabelle zufolge sehr gering im Vergleich zu den unregelmäßigen nicht periodischen Schwankungen, denn im Durchschnitt ist der höchste Barometerstand im Laufe eines Jahres 773,5^{mm}, der niedrigste 731^{mm}, ihre Differenz also 42,5^{mm}, während die Differenz des täglichen Maximums und Minimums nur 0,775^{mm} beträgt.

Um den Gang der täglichen Barometerschwankungen gehörig verfolgen zu können, muß eine Zeitlang wenigstens bei Tage stündlich das Barometer beobachtet werden. Die meisten Beobachtungsreihen dieser Art sind jedoch des Nachts nicht fortgesetzt; man kann aber mit ziemlicher Sicherheit aus den am Tage gemachten Beobachtungen auf den Gang des Barometers in der Nacht schließen.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate solcher Beobachtungsreihen, welche an verschiedenen Orten angestellt wurden.

Orte	gr. Ocean	Cumana	La Guayra	Calcutta	Padua	Halle	Abo	Petersburg
Entfernung vom Aequator	0° 0′	10° 28′ n.	10° 36′ n.	22° 35′ n.	45° 24′ n.	51° 29′ n.	60° 57′ n.	59° 66′ n.
Beobachter	Horner	Humboldt	Boussignault	Balfour	Ciminello	Kämtz	Hallström	Kupffer
Mittag	752,35	756,57	759,41	759,61	757,02	753,29	759,31	759,47
1	751,87	755,99	758,91	759,22	756,85	753,11	759,29	»
2	751,55	755,47	758,41	758,39	756,67	752,99	759,27	759,38
3	751,15	755,14	758,12	758,12	756,54	752,89	759,25	»
4	751,02	754,96	758,05	757,91	756,47	752,84	759,25	759,32
5	751,31	755,14	758,10	757,93	756,46	752,86	759,27	»
6	751,71	755,41	758,40	758,01	756,50	752,91	759,29	759,31
7	751,93	755,81	758,90	758,02	756,63	753,02	759,34	»
8	752,35	756,21	759,19	758,54	756,79	753,14	759,39	759,32
9	752,74	756,59	759,69	759,24	756,92	753,24	759,44	»
10	752,85	756,87	759,93	759,33	757,02	753,31	759,47	759,36
11	752,86	757,15	759,98	759,09	757,02	753,29	759,47	»
Mitternacht	752,47	756,86	759,64	758,80	757,01	753,23	759,41	759,35
1	752,20	756,53	759,34	758,62	756,90	753,14	759,33	»
2	751,77	756,21	759,05	758,57	756,84	753,05	759,24	759,32
3	751,63	755,89	758,81	758,49	756,78	752,99	759,14	»
4	751,32	755,66	758,68	748,47	756,74	752,99	759,07	759,32
5	751,65	755,79	758,85	758,44	756,75	753,34	759,03	»
6	751,95	756,18	759,32	758,68	756,79	753,12	759,04	759,39
7	752,48	756,58	759,94	759,16	756,89	753,24	759,08	»
8	752,95	756,98	760,50	759,88	757,01	753,37	759,15	759,49
9	753,16	757,31	759,63	760,11	757,08	753,44	759,21	»
10	753,15	757,32	760,50	760,19	757,14	753,46	759,29	759,51
11	752,80	757,01	759,99	760,09	757,07	753,40	759,32	»

Nach dieſer Tabelle iſt in den folgenden Figuren der Gang der täglichen Barometervariationen für Cumana, Calcutta, Padua und Petersburg anſchaulich gemacht.

Fig. 394.

Cumana.

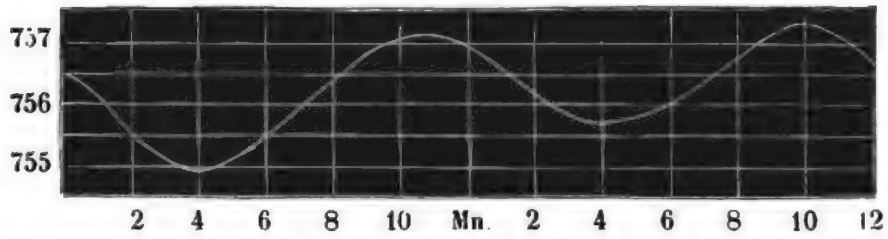


Fig. 395.

Calcutta.

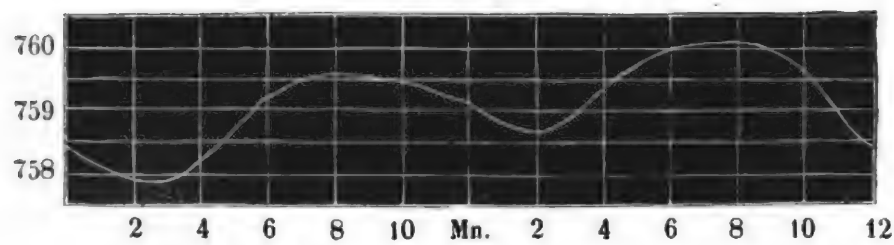


Fig. 396.

Padua.

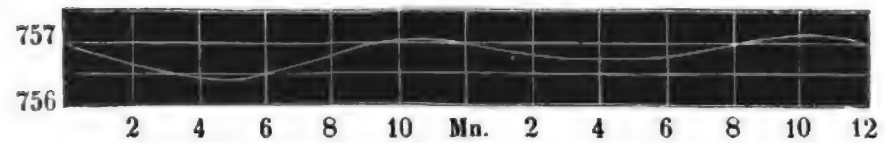
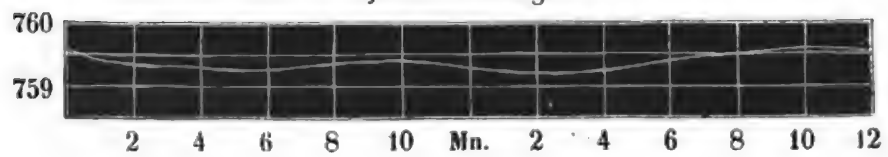


Fig. 397.

Petersburg.



Die Zeit iſt zur Abſciſſe genommen, der Maßſtab der Ordinaten aber iſt vergrößert, weil die Amplitude der täglichen Variationen namentlich in

höheren Breiten sonst wegen ihrer Kleinheit nicht sichtbar geworden wäre; die Entfernung je zweier auf einander folgender Horizontallinien stellt $^1/_2$ Millimeter dar.

Das Barometer sinkt also vom Mittag an und erreicht zwischen 3 und 5 Uhr sein erstes Minimum, es steigt dann und erreicht ein Maximum zwischen 9 und 11 Uhr Abends; ein zweites Minimum tritt gegen 4 Uhr Morgens, ein zweites Maximum gegen 9 Uhr Morgens ein.

Die Stunden, in welchen die tägliche Variation ein Maximum oder Minimum erreicht, nennt man Wendestunden.

Die Wendestunden sind bei uns nicht für alle Jahreszeiten dieselben, wie man aus folgender Tabelle ersehen kann, welche für Halle die Wendestunden in den verschiedenen Monaten des Jahres enthält.

Monate.	Minimum.	Maximum	Minimum.	Maximum.
Januar . . .	2,81 h. A.	9,17 h. A.	4,91 h. M.	9,91 h. M.
Februar . . .	3,43	9,46	3,86	9,66
März	3,82	9,80	3,87	10,10
April	4,46	10,27	3,53	9,53
Mai	5,43	10,93	3,03	9,13
Juni	5,20	10,93	2,83	8,73
Juli	5,21	11,04	3,04	8,48
August	4,86	11,66	3,06	8,96
September . .	4,55	10,45	3,45	9,71
October . . .	4,17	10,24	3,97	10,07
November . .	3,52	9,85	4,68	10,08
December . .	3,15	9,11	4,91	10,18

Bestimmt man die Wendestunden, indem man das Mittel aus allen Monatszahlen nimmt, so ergeben sich für alle Orte sehr nahe dieselben Wendestunden. Wenn die Wendestunden nicht für alle Orte genau dieselben sind, so rührt vielleicht der Unterschied nur daher, daß nicht an allen Orten die Beobachtungsreihen lange genug fortgesetzt wurden; nimmt man alle auf der nördlichen Halbkugel angestellten Beobachtungen zusammen, so ergeben sich im Durchschnitt folgende Wendestunden;

Minimum des Nachmittags 4 Uhr 5 Minuten
Maximum des Abends . . . 10 » 11 »
Minimum des Morgens . . 3 » 45 »
Maximum des Morgens . . 9 » 37 »

Vergleicht man die Amplitude der täglichen Variationen, so findet man, wie schon angeführt wurde, daß sie in den Tropen am größten ist und daß sie um so mehr abnimmt, je weiter man sich von dem Aequator entfernt. In Cumana beträgt die Amplitude der täglichen Variationen 2,36, in Petersburg nur 0,2 Millimeter.

Auch die Jahreszeiten üben auf die Größe der täglichen Variationen einen Einfluß aus, selbst in den Tropen ist die Amplitude derselben während der Regenzeit geringer. Im Winter ist die Amplitude der täglichen Schwankungen ein Minimum; zu welcher Zeit sie ein Maximum ist, hat man bis jetzt noch nicht genügend ermittelt. Die folgende Tabelle giebt die Werthe der täglichen Amplitude zu Halle und Mailand für die 12 Monate des Jahres an.

Monate.	Halle.	Mailand.
	mm	mm
Januar . . .	0,393	0,738
Februar . . .	0,476	0,718
März	0,488	0,871
April	0,569	0,871
Mai	0,546	0,801
Juni	0,557	0,961
Juli	0,566	0,952
August	0,569	0,812
September . .	0,546	0,817
October . . .	0,566	0,745
November . .	0,426	0,727
December . .	0,363	0,700

195 **Jährliche Periode der Barometerschwankungen.** Wenn man den mittleren Barometerstand für die verschiedenen Monate des Jahres bestimmt, so findet man bald, daß er sich von einem Monate zum andern bedeutend ändert, und man erkennt in diesen Veränderungen auch bald eine jährliche Periode des Sinkens und Steigens. Die beiden folgenden Tabellen enthalten die mittleren Barometerstände der verschiedenen Monate für 10 Orte der nördlichen Hemisphäre.

Monate.	Havanna.	Calcutta.	Benares.	Macao.	Cairo.
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Januar	765,24	764,57	755,41	767,93	762,40
Februar	760,15	758,86	752,91	767,01	»
März	760,98	756,24	751,19	766,08	759,43
April	759,58	753,83	747,33	761,93	760,10
Mai	758,19	750,81	745,01	761,64	758,23
Juni	760,67	748,10	741,13	757,31	754,42
Juli	760,67	747,54	740,65	757,91	753,90
Auguſt	757,33	748,53	743,31	757,91	754,06
September	757,46	751,85	745,98	762,22	756,70
October	758,19	755,25	750,35	763,37	759,70
November	761,25	758,37	753,06	766,17	760,76
December	763,62	760,59	755,57	768,65	761,82

Monate.	Paris.	Straßburg.	Halle.	Berlin	Petersburg.
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Januar	758,86	751,62	754,64	761,91	762,54
Februar	759,09	752,43	753,44	761,23	763,10
März	756,33	751,19	751,62	759,90	760,76
April	755,18	749,95	750,98	757,82	761,19
Mai	755,61	750,49	752,57	759,88	760,94
Juni	757,28	752,16	752,70	759,81	759,83
Juli	756,52	751,64	753,27	759,58	758,25
Auguſt	756,74	752,03	752,18	759,02	759,94
September	756,61	752,59	753,42	760,53	761,19
October	754,42	751,82	755,55	761,25	760,82
November	755,75	751,28	753,27	759,43	758,05
December	755,09	750,70	754,10	760,35	760,22

Fig. 398.

Calcutta.

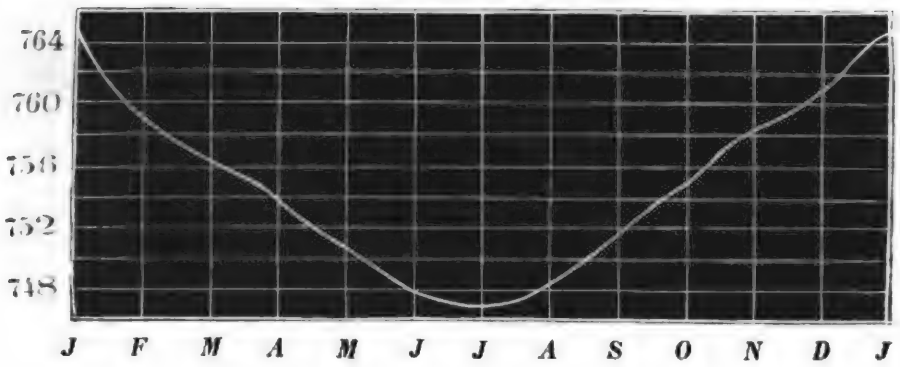


Fig. 399.

Macao.

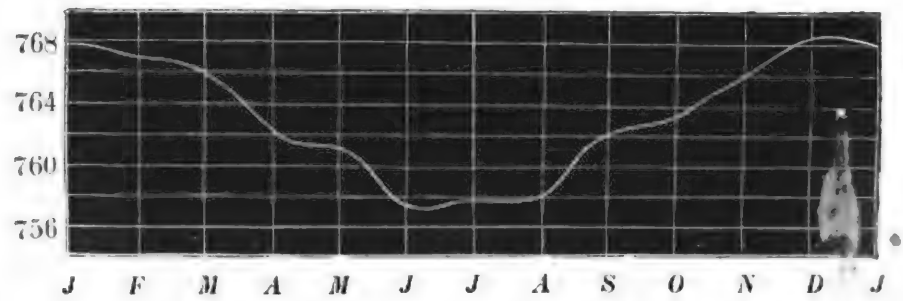


Fig. 400.

Paris.

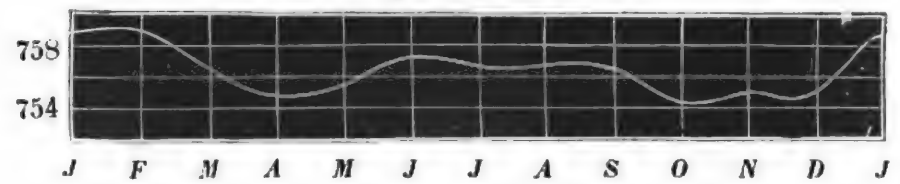
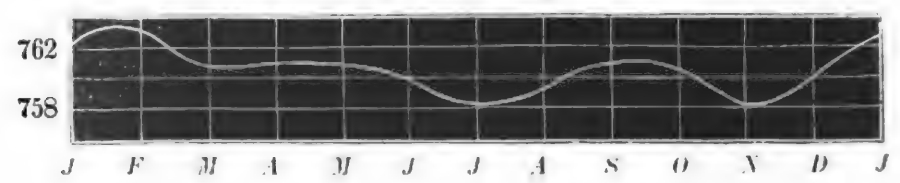


Fig 401.

Petersburg.



Um die Veränderungen des mittleren Barometerstandes im Laufe eines Jahres anschaulicher zu machen, folgt hierbei die graphische Darstellung derselben für Calcutta, Macao, Paris und Petersburg. Die Entfernung zweier Horizontallinien entspricht einer Höhendifferenz von 2 Millimetern, in vertikaler Richtung ist also der Maßstab dieser Figuren 4mal kleiner als der Maßstab der Figuren auf Seite 526.

In Calcutta, wo man eine 8jährige Reihe von Beobachtungen angestellt hat, spricht sich die jährliche Periode am entschiedensten aus. Im Januar ist der mittlere Barometerstand am höchsten, er sinkt beständig bis zum Juli, wo er sein Minimum erreicht, und steigt dann wieder bis zum Januar. Die Amplitude der jährlichen Periode beträgt für Calcutta 17 Millimeter; in Amerika scheint diese Amplitude, welche ebenfalls mit der Entfernung vom Aequator abnimmt, geringer zu seyn.

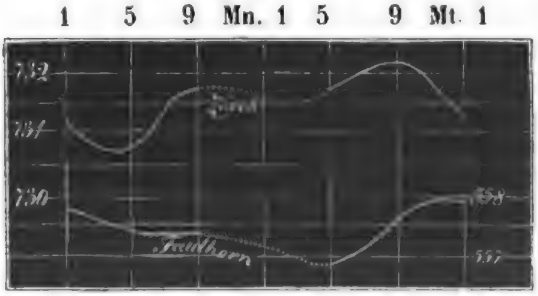
Auch in höheren Breiten ist der mittlere Barometerstand im Winter höher als in allen übrigen Jahreszeiten, außerdem aber ist in größerer Entfernung vom Aequator der periodische Gang des mittleren Barometerstandes im Laufe des Jahres nicht so regelmäßig, wie man sowohl aus der Tabelle, als auch in den Figuren sehen kann.

196 **Einfluß der Höhe über dem Meeresspiegel auf die periodischen Schwankungen des Barometers.** Da das Barometer die Größe des Druckes anzeigt, welchen die über uns befindliche Luft ausübt, so werden die Schwankungen des Barometers auf hohen Bergen, wo eine Luftsäule von weit geringerer Höhe und Dichtigkeit drückt, auch geringer seyn müssen als in der Tiefe, und es läßt sich erwarten, daß in gewissen Höhen über dem Meeresspiegel die Veränderungen des Luftdrucks ganz unmerklich werden. Daß die Erhebung über das Niveau des Meeres wirklich einen solchen Einfluß ausübt, geht aus den Barometerbeobachtungen hervor, welche Kämtz auf dem Rigi und auf dem Faulhorn angestellt hat und welche in der folgenden Tabelle mit den gleichzeitigen mittleren Barometerständen der verschiedenen Tagesstunden zu Zürich zusammengestellt sind. Die Zahlen von 10 Uhr Abends bis 5 Uhr Morgens sind durch Interpolation bestimmt.

Stunden	Zürich mm 720+	Rigi mm 610+	Unterſchiede mm 100+	Zürich mm 730+	Faulhorn mm 550+	Unterſchiede mm 170+
Mittag	4,08	4,36	9,72	1,58	7,88	3,70
1	3,92	4,37	9,57	1,25	7,75	3,50
2	3,82	4,38	9,44	0,99	7,66	3,33
3	3,72	4,34	9,38	0,71	7,59	3,13
4	3,63	4,34	9,30	0,64	7,50	3,15
5	3,61	4,30	9,31	0,76	7,49	3,27
6	3,76	4,38	9,38	0,92	7,51	3,41
7	3,95	4,40	9,57	1,21	7,41	3,80
8	4,22	4,57	9,87	1,52	7,43	4,10
9	4,55	4,70	9,85	1,72	7,44	4,27
10	4,61	4,72	9,90	1,79	7,41	4,39.
11	4,68	4,68	10,00	1,77	7,36	4,41
Mitternacht	4,58	4,58	10,01	1,72	7,28	4,44
1	4,43	4,45	9,99	1,63	7,19	4,45
2	4,28	4,30	9,98	1,54	7,08	4,47
3	4,19	4,17	10,03	1,51	6,96	4,55
4	4,18	4,09	10,10	1,54	6,90	4,65
5	4,25	4,03	10,23	1,66	6,90	4,76
6	4,31	4,03	10,28	1,79	7,05	4,76
7	4,38	4,05	10,33	1,97	7,16	4,80
8	4,41	4,13	10,28	2,13	7,36	4,77
9	4,38	4,16	10,22	2,20	7,62	4,57
10	4,29	4,23	10,06	2,12	7,89	4,24
11	4,19	4,34	9,86	1,87	7,99	3,97

Hier zeigt ſich der Einfluß der Höhe auf die Größe der täglichen Variationen entſchieden. Die Differenz zwiſchen dem höchſten und niedrigſten Stande iſt in Zürich 1,56mm, während ſie auf dem Faulhorn nur 1,09mm iſt. Außer der Größe der Schwankungen zeigt ſich aber auch im Gange des Barometers eine große Verſchiedenheit, wie man am beſten aus Fig. 402 überſieht, in welcher die täglichen Variationen auf dem Faulhorn und in Zürich durch Kurven anſchaulich gemacht ſind. Die Zahlen rechts beziehen ſich auf die untere, die Zahlen links auf die obere Kurve. Man ſieht, daß am Nachmittag das Barometer an beiden Orten ſinkt, in Zürich ſteigt es aber von 4 Uhr an bis gegen 9 Uhr Abends, während auf dem Faulhorn das Sinken in den Abendſtunden kaum merklich unterbrochen iſt und dann bis 5 Uhr Morgens fortdauert; nun ſteigt auf dem Faulhorn das Barometer wieder bis gegen Mittag, während es in Zürich ſchon um 9 Uhr Morgens ſeinen höchſten Stand erreicht; auf dem Faulhorn iſt alſo das zweimalige Sinken und Steigen im Laufe des Jahres faſt verſchwunden, es iſt nur ein entſchiedenes Maximum und nur ein entſchiedenes Minimum wahrzunehmen.

Fig. 402.



Mittlere monatliche Schwankungen. Es ist bereits erwähnt wor- 197
den, daß in unseren Gegenden die periodischen Schwankungen des Barometers durch die zufälligen nicht periodischen maskirt sind, daß man die periodischen Schwankungen nur durch Mittelzahlen aus lange fortgesetzten Beobachtungsreihen nachweisen kann. Wir wollen uns jetzt zur Betrachtung der nicht periodischen Schwankungen wenden und zunächst den Einfluß der Jahreszeiten auf die Größe derselben kennen lernen.

Nach den vom physikalischen Vereine zu Frankfurt a. M. angestellten meteorologischen Beobachtungen sind Folgendes die Unterschiede des höchsten und tiefsten Tagesmittels für jeden der 12 Monate vom Jahre 1837 bis 1843 in Pariser Linien:

	1837	1838	1839	1840	1841	1842	1843	Mittel
Januar . . .	9,5	10,5	15	13,5	15	10,5	18	13,1
Februar . . .	13	15	10,5	15,5	10	13	13	13
März	6,5	12,5	10	8,5	13	12	7,5	10
April	8,5	8	6,5	8	8	11,5	8	8,3
Mai	6	7,5	7	11	7,5	6,5	7	7,5
Juni	3,5	5,5	7,5	5,5	8,5	5	5	5,8
Juli	4,5	5,5	4,5	6,5	7	7	8,5	6,2
August	8,5	7,5	8,5	6	8	7	5,5	7,3
September . .	8	9,5	9,5	9,5	6	8	9	8,3
October . . .	11	8,5	4	13	11	13	11	10,2
November . .	13	12	7,5	14	16,5	14	7	12
December . .	9,5	9,5	9,5	12,5	10	8,5	7,5	9,6

Man übersieht aus dieser Tabelle, daß die Größe der nicht periodischen Schwankungen im Sommer kleiner ist als im Winter, besonders deutlich übersieht man dies aus den Mittelzahlen der letzten Columne. Nimmt man das Mittel aus den 12 Zahlen der letzten Columne, so erhält man den Werth 9,28 Pariser Linien oder 20,4 Millimeter als Durchschnittswerth für die Differenz der monatlichen Extreme.

Dies ist jedoch noch nicht der wahre Mittelwerth für die Größe der monatlichen Schwankungen, denn wir haben ja nicht die Differenz des im Laufe eines Monats beobachteten höchsten und niedrigsten Barometerstandes, sondern nur den Unterschied des höchsten und tiefsten mittleren täglichen Barometerstandes in Rechnung gebracht.

Die folgende Tabelle enthält die mittlere monatliche Amplitude der Barometerschwankungen an verschiedenen Orten der Erde.

Batavia	6°	12′	S.	2,98mm
Tivoli (St. Domingo) .	18	35	N.	4,11
Havanna	23	9		6,38
Calcutta	22	34		8,28
Teneriffa	28	26		8,48
Funchal (Madeira) . .	22	37		10,42
Cap der guten Hoffnung	33	55	S.	12,45
Rom	41	53	N.	17,15
Montpellier	43	36		18,02
Mailand	45	28		19,24
Wien	48	13		20,53
Prag	50	5		21,54
Paris	48	50		23,66
Mannheim	48	29		23,66
Moskau	55	46		24,05
Berlin	52	31		25,24
New-Haven (Connecticut)	41	10		25,29
Jakuzk	62	2		25,92
London	51	31		27,88
Petersburg	59	56		29,24
Nain (Labrador) . . .	57	8		32,35
Chriſtiania	59	55		33,05
Naes (Island) . . .	64	30		35,91.

Die nicht periodiſchen Barometerſchwankungen ſind alſo nicht allein im Winter größer als im Sommer, ſondern ſie ſind auch in kalten Ländern bedeutender als in heißen, d. h. ſie nehmen im Allgemeinen um ſo mehr zu, je weiter man ſich vom Aequator entfernt.

Solche Linien auf der Erdoberfläche, welche alle Orte mit einander verbinden, für welche die mittlere monatliche Amplitude der Barometerſchwankungen dieſelbe iſt, heißen *iſobarometriſche Linien*.

Wir können hier den Lauf der iſobarometriſchen Linien nicht weiter verfolgen und müſſen uns auf einige allgemeine Bemerkungen beſchränken. Aus der eben mitgetheilten Tabelle erſieht man, daß die iſobarometriſchen Linien durchaus nicht mit den Parallelkreiſen zuſammenfallen. Calcutta und Havanna liegen nahe in gleicher Breite, und doch ſind die Barometerſchwankungen in Calcutta weit bedeutender. An der Oſtküſte von Nordamerika ſind die zufälligen Schwankungen des Barometers viel größer als an den Weſtküſten von Europa, ſie ſind in New-Haven und dem 11° 21′ nördlicher gelegenen Berlin faſt gleich, die iſobarometriſchen Linien ſteigen alſo von den Oſtküſten Nordamerika's nach Europa und entfernen ſich dann

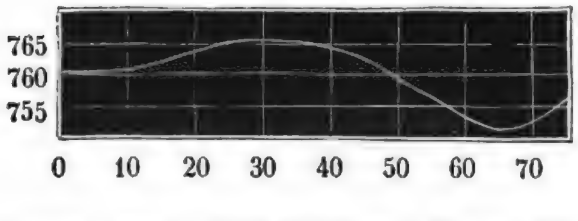
um ſo weiter vom Aequator, je weiter man ins Innere des Continents der alten Welt kommt.

Mittlere Barometerhöhe im Niveau des Meeres. Man glaubte 198
früher, daß der mittlere Barometerſtand am Meeresſpiegel allenthalben derſelbe ſey; dies iſt jedoch nicht der Fall, wie man aus folgender Tabelle erſehen kann, in welcher die mittleren Barometerſtände verſchiedener am Meere gelegener Orte zuſammengeſtellt ſind.

Cap der guten Hoffnung	33°	S.	763,01mm
Rio Janeiro	23		764,03
Chriſtianborg	5°	30′ N.	760,10
St. Thomas	19		760,51
Macao	33		762,99
Madeira	32	30	765,18
Neapel	41		762,95
Paris	49		761,41
Edinburg	56		758,25
Reikiavig	64		752,00
Spitzbergen	75	30	756,76.

Wir ſehen aus dieſer Tabelle, wie dies in Fig. 403 auch graphiſch dargeſtellt iſt, daß der mittlere Barometerſtand am Meere vom Aequator nach dem Nordpole hin erſt wenig, dann raſcher zunimmt, daß er zwiſchen dem 30. und 40. Breitengrade ſein Maximum erreicht, dann weiter nach Norden hin wieder abnimmt und zwiſchen dem 60. und 70. Grade nördlicher Breite am kleinſten iſt.

Fig. 403.



Urſachen der Barometerſchwankungen. Die Urſache aller Baro- 199
meterſchwankungen iſt in der ungleichen und ſtets ſich ändernden Wärmevertheilung auf der Erde zu ſuchen. Da ſich die Wärmevertheilung auf der Erde beſtändig ändert, ſo wird auch das Gleichgewicht in jedem Augenblicke geſtört, es entſtehen Luftſtrömungen, welche das geſtörte Gleichgewicht herzuſtellen ſtreben, und ſo iſt denn die Luft in beſtändiger Bewegung, bald mehr erwärmt und deshalb leichter, bald wieder erkaltet und deshalb dichter, bald mehr, bald weniger Waſſerdampf enthaltend, wird auch der Druck der Luftſäule fortwährenden Veränderungen unterworfen ſeyn, welche uns das Barometer anzeigt.

Daß wirklich Temperaturveränderungen die Urſache der Barometerſchwankungen ſind, geht ſchon daraus hervor, daß ſie in den Tropen, wo die Tem-

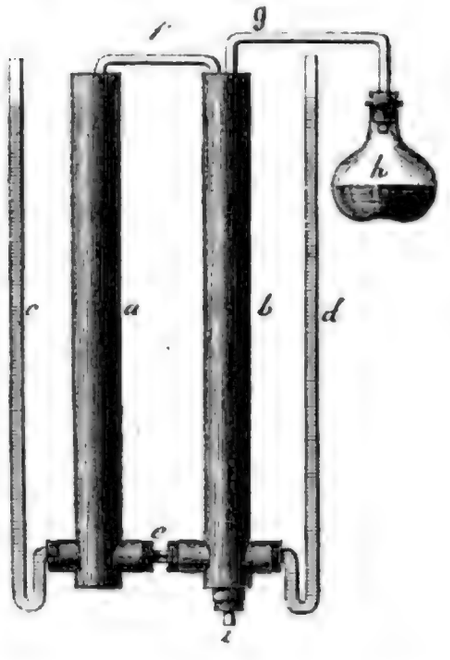
peratur ſo wenig veränderlich iſt, auch am unbedeutendſten ſind, in höheren Breiten dagegen, wo die Variationen der Temperatur immer bedeutender werden, da iſt auch die Amplitude der zufälligen Barometerſchwankungen ſehr groß, ja ſelbſt im Sommer, wo die Temperatur im Allgemeinen weniger veränderlich iſt, ſind die Oscillationen des Barometers kleiner als im Winter.

Obgleich man im Allgemeinen nachweiſen kann, daß die ungleiche und ſtets ſich ändernde Erwärmung der Luft beſtändige Veränderungen in der Größe des Luftdrucks zur Folge haben muß, ſo ſind wir doch noch weit davon entfernt, alle einzelnen hierher gehörigen Erſcheinungen genügend erklären zu können.

Wenn an irgend einem Orte die Luft bedeutend erwärmt wird, ſo dehnt ſie ſich aus, die Luftſäule erhebt ſich über die Luftmaſſe, welche auf den kälteren Umgebungen ruht, die in die Höhe geſtiegene Luft wird alſo oben nach den Seiten hin abfließen, der Druck der Luft muß alſo an dem wärmeren Orte abnehmen, das Barometer wird daſelbſt ſinken müſſen; in den kälteren Umgebungen aber muß das Barometer ſteigen, weil ſich die in den oberen Regionen der erwärmten Gegenden ſeitwärts abfließende Luft über die Atmoſphäre der kälteren Gegenden verbreitet.

Es läßt ſich dies durch den Apparat Fig. 404 anſchaulich machen. *a* und *b* ſind Blechröhren von 1½ bis 2 Fuß Höhe, welche unten bei *e* durch ein Stück Thermometerrohr verbunden ſind. Mit der Blechröhre *a* iſt die Glasröhre *c*, mit der Röhre *b* iſt die Glasröhre *d* in Verbindung. Wenn man in eine der Röhren *b* oder *a* Waſſer gießt, ſo wird daſſelbe nur langſam durch die enge Röhre bei *e* in die andere Röhre fließen können. Wenn man beide Röhren *a* und *b* faſt bis oben füllt und ſie dann oben durch ein hinlänglich weites Heberrohr *f* in Verbindung ſetzt, ſo muß ſich das Waſſer in allen vier Röhren, *c*, *a*, *b* und *d*, gleich hoch ſtellen. Nun aber geht durch das Blechrohr *b* von oben bis unten ein unten offenes Glasrohr *g i* hindurch, durch welches die in dem Kolben *h* mittelſt einer Weingeiſtlampe entwickelten Waſſerdämpfe hindurchgeleitet werden. In unſerer Figur iſt der Kolben *h* neben die Röhre *d*

Fig. 404



gezeichnet worden, es ist aber besser, wenn er, was sich in der Figur nicht so gut hätte darstellen lassen, hinter *d* sich befindet.

Da das Rohr *g i* mit kaltem Wasser umgeben ist, so werden die durchstreichenden Dämpfe verdichtet, und das Wasser in *b* wird erwärmt. Wenn nun zwischen *a* und *b* gar keine Verbindung wäre, so würde die Wassersäule in *b* steigen, ohne daß das Wasser in *d* steigt, weil *b* erwärmt wird, *d* aber kalt bleibt; weil aber die Röhren *b* und *a* oben durch die Heberröhre *f* verbunden sind, so kann das Wasser in *b* nicht höher stehen als in *a*, ein Theil des in *b* erwärmten Wassers fließt nach *a* über, und in Folge dessen sinkt das Wasser in *d*, in *c* aber steigt es, weil zu dem schon in *a* vorhandenen Wasser noch neues durch den Heber *f* hinzukommt.

Wäre *e* eine hinlänglich weite Röhre, so würde das Wasser in allen vier Röhren stets gleich hoch bleiben, weil in dem Maaße, als warmes Wasser durch *f* nach *a* fließt, unten umgekehrt kaltes Wasser durch *e* nach *b* fließen würde, weil sich also das gestörte Gleichgewicht in jedem Augenblicke wieder herstellen; dies ist aber nicht möglich, weil die Röhre *e* zu enge ist. Ebenso wird in erkalteten Gegenden der Luftdruck zu-, in erwärmten abnehmen, weil die Luft in den unteren Regionen nicht schnell genug der erwärmten Gegend zuströmen kann, um das gestörte Gleichgewicht sogleich wieder herzustellen.

Dadurch erklärt sich auch, warum in unseren Gegenden im Durchschnitte bei Südwestwinden das Barometer am tiefsten, bei Nordostwinden am höchsten steht, die Südwestwinde bringen uns warme Luft, während uns die Nordostwinde kältere Luft zuführen; da, wo ein warmer Luftstrom weht, müßte die Atmosphäre eine größere Höhe haben als da, wo der kalte Wind weht, wenn der Druck der ganzen Luftsäule an beiden Orten derselbe seyn sollte; wäre dies aber auch wirklich der Fall, so würde die Luft des warmen Stromes oben abfließen, das Barometer also unter dem warmen Luftstrome sinken, unter dem kalten dagegen steigen.

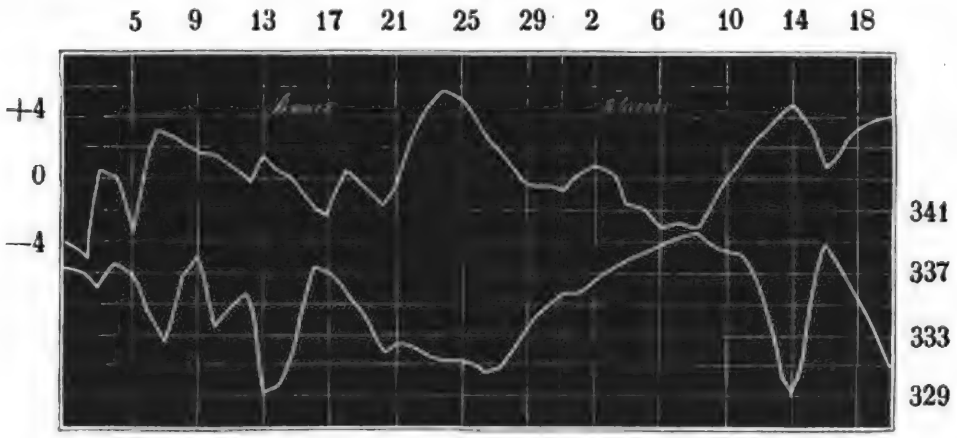
In Europa sind im Durchschnitte die Südwestwinde auch die Regenwinde, weil sie, von wärmeren Meeren kommend, mit Wasserdampf gesättigt sind, welcher sich nach und nach verdichtet und als Regen niederfällt, wenn der Wind zu immer kälteren Gegenden gelangt. In dieser Condensation des Wasserdampfes ist ein zweiter Grund zu suchen, warum das Barometer bei Südwestwinden niedrig steht. So lange nämlich der Wasserdampf als förmliches Gas einen Bestandtheil der Atmosphäre ausmacht, ist ihm ein Theil des atmosphärischen Druckes zuzuschreiben, ein Theil der Quecksilbersäule im Barometer wird durch den Wasserdampf getragen; das Barometer muß also sinken, wenn der Wasserdampf aus der Atmosphäre durch Verdichtung ausgeschieden wird.

Dieser Umstand erklärt auch, daß der mittlerere Barometerstand am

Meere zwiſchen dem 60. und 70. Breitengrade ſo gering iſt; die Luft, welche von ſüdlichen Gegenden herkommt, verliert mehr und mehr ihren Waſſergehalt, der Druck, den ſie ausübt, muß alſo nach und nach abnehmen.

Nach der eben entwickelten Anſicht iſt das Sinken des Barometers eine Erſcheinung, welche das Wehen warmer Winde begleitet, während kalte Winde ein Steigen des Barometers veranlaſſen; im Allgemeinen wird alſo das Thermometer ſteigen, wenn das Barometer fällt. Dies iſt auch in der That der Fall, und zwar tritt dieſer Gegenſatz im Gange der beiden Inſtrumente am deutlichſten im Winter auf. Die beiſtehende Figur, welche

Fig. 405.



den Beobachtungen des phyſikaliſchen Vereins zu Frankfurt a. M. entnommen iſt, zeigt den Gang der mittleren täglichen Temperatur und des mittleren täglichen Barometerſtandes daſelbſt vom 1. Januar bis zum 20. Februar 1837; man ſieht, wie in der That das Barometer gewöhnlich ſteigt, wenn das Thermometer fällt, und daß ein barometriſches Minimum meiſtens mit einem thermometriſchen Maximum zuſammenfällt.

Die Verſuchsreihen anderer Jahre und anderer Orte geben daſſelbe Reſultat.

Wenn dieſer Gegenſatz im Sommer nicht ſo rein auftritt, ſo iſt der Grund davon darin zu ſuchen, daß die an ſich warmen Südweſtwinde im Sommer doch eine kühlere Temperatur zur Folge haben, weil, wenn ſie wehen, der Himmel meiſtens bewölkt iſt und dadurch die Erwärmung des Bodens durch die Sonnenſtrahlen verhindert wird, während die abkühlende Wirkung der Nordoſtwinde dadurch neutraliſirt wird, daß ſich bei heiterem Himmel durch die kräftig wirkenden Sonnenſtrahlen der Boden bedeutend erwärmt. Damit hängt auch die geringere Amplitude der Barometerſchwankungen im Sommer zuſammen.

Da die Südweſtwinde, welche in unſeren Gegenden ein Sinken des Barometers bewirken, uns auch eine feuchte Luft zuführen und regneriſches

Wetter bringen, während das Barometer ſteigt, wenn Nordoſtwinde wehen, welche die Luft trocken und den Himmel heiter machen, ſo kann man allerdings ſagen, daß im Allgemeinen ein hoher Barometerſtand ſchönes Wetter, ein tiefer aber ſchlechtes Wetter anzeigt. Dies iſt aber, wie geſagt, nur eine Durchſchnittsregel, denn bei Nordoſtwind iſt der Himmel auch öfters bewölkt, bei Südweſtwind auch manchmal heiter; ſie iſt jedoch in derſelben Ausdehnung wahr wie die, daß bei Nordoſtwind das Barometer hoch, bei Südweſtwinde dagegen tief ſteht; dies iſt auch nicht immer, ſondern nur im Durchſchnitte wahr. Wir können uns von ſolchen Anomalien keine Rechenſchaft geben, weil uns die mannigfachen Elemente nicht genügend bekannt ſind, welche den Gleichgewichtszuſtand der Atmoſphäre bedingen.

Daß ein hoher Barometerſtand im Allgemeinen heiteres Wetter, ein tiefer aber trübes Wetter anzeigt, iſt auch nur für ſolche Orte wahr, an welchen die warmen Winde zugleich die Regen bringenden ſind. An dem Ausfluſſe des La Plataſtromes z. B. ſind die kalten Südoſtwinde, welche vom Meere her wehen und das Barometer ſteigen machen, die Regenwinde, die warmen Nordweſtwinde aber, bei welchen das Barometer ſinkt, ſind trockene Landwinde und bringen heiteres Wetter. Dem Umſtande, daß hier der Regen durch kalte Winde gebracht wird, iſt die geringere Regenmenge dieſer Gegenden zuzuſchreiben, während unter gleicher Breite an den Weſtküſten von Südamerika ſehr viel Regen fällt, indem hier der warme Nordweſtwind zugleich ein Seewind iſt.

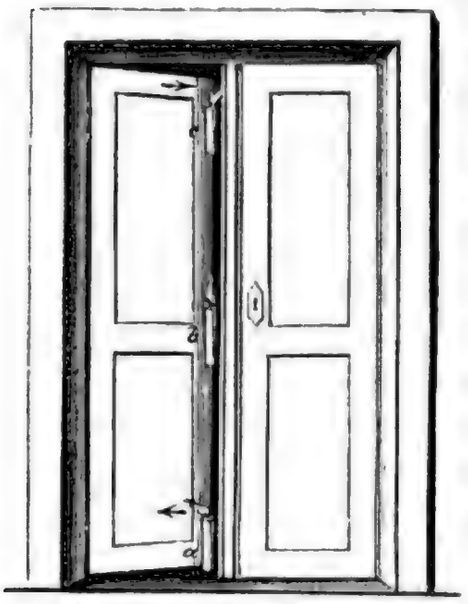
Die tägliche Periode der Barometerſchwankungen iſt weſentlich durch die Veränderungen im Feuchtigkeitszuſtande der Luft bedingt; wir werden deshalb auf dieſen Gegenſtand zurückkommen, wenn wir die Veränderungen werden kennen gelernt haben, welche der Waſſergehalt der Luft im Laufe des Tages erleidet.

Drittes Kapitel.

Von den Winden.

200 **Entstehung der Winde.** Wenn man im Winter die in einen kalten Raum führende Thür eines geheizten Zimmers etwas öffnet und eine brennende Kerze an das obere Ende des Spaltes hält, wie man Fig. 406 sieht, so zeigt die nach außen gerichtete Flamme einen von dem warmen Zimmer nach dem kalten Raume gerichteten Luftstrom an. Rückt man nun mit der Kerze mehr und mehr herunter, so stellt sich die Flamme immer mehr aufrecht, ungefähr in der halben Höhe der Oeffnung steht sie ganz still, sie ist hier nicht durch Luftströmungen afficirt; bringt man sie aber noch weiter herunter, so wird die Flamme von außen nach innen getrieben. Man sieht also, daß die erwärmte Luft oben aus- und daß dagegen unten die kalte Luft in das Zimmer einströmt.

Fig. 406.



Wie hier im Kleinen die ungleiche Erwärmung der beiden Räume Luftströmungen veranlaßt, so ist auch die ungleiche stets wechselnde Erwärmung der Erdoberfläche und des über ihr schwebenden Luftmeeres die Ursache der Luftströmungen, die wir Winde nennen. Auch im Großen sieht man die Luft in den stärker erwärmten Gegenden aufsteigen und in der Höhe nach den kälteren abfließen, während unten die Luft von den kälteren Gegenden den wärmeren zuströmt.

Ein einfaches Beispiel geben uns die Land- und Seewinde, welche man häufig an den Meeresküsten, namentlich aber auf den Inseln wahrnimmt. Einige Stunden nach Sonnenaufgang erhebt sich ein von dem Meere nach der Küste gerichteter Wind, der Seewind, weil das feste Land unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen stärker erwärmt wird als das Meer, über dem Lande steigt die Luft in die Höhe und fließt oben nach dem Meere hin ab, während unten die Luft vom Meere gegen die Küsten strömt. Dieser Seewind ist anfangs schwach und nur an den Küsten selbst fühlbar, später nimmt er zu und zeigt sich dann auch auf dem Meere schon in größerer Entfernung von der Küste; zwischen 2 und 3 Uhr Nachmittags wird er am stärksten, nimmt dann wieder ab, und gegen Untergang der Sonne tritt eine

Windstille ein. Nun erkaltet Land und Meer durch die Wärmestrahlung gegen den Himmelsraum, das Land erkaltet aber rascher als das Meer, und nun strömt die Luft in den unteren Regionen vom Lande nach dem Meere, während in den oberen Luftregionen eine entgegengesetzte Strömung stattfindet.

Zu den Ursachen, welche Luftströmungen, ja die heftigsten Stürme erzeugen können, ist auch eine schnelle Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes zu zählen. Wenn man bedenkt, welch eine ungeheure Wassermasse während eines Platzregens in wenigen Minuten zur Erde fällt, welch ungeheures Volumen dieses Wasser eingenommen haben muß, als es noch in Dampfgestalt in der Atmosphäre schwebte, so ist klar, daß durch die plötzliche Condensation dieser Wasserdämpfe eine bedeutende Luftverdünnung bewirkt wird und daß die Luft von allen Seiten her mit Gewalt in den verdünnten Raum eindringen muß, um so mehr, als da, wo die Condensation der Wasserdämpfe stattfindet, die Temperatur der Luft durch die frei werdende Wärme erhöht und dadurch ein kräftig aufsteigender Luftstrom erzeugt wird. Daß auf diese Weise, also gleichsam durch Saugen, häufig Winde, und namentlich Stürme erzeugt werden, dafür sprechen zahlreiche Erfahrungen. Wargentin bemerkt, daß der Westwind in der Regel zu Moskau eher als zu Abo beobachtet wird, obgleich letztere Stadt bedeutend westlicher liegt als Moskau; auch bläst dieser Westwind in Finnland oft eher als in Schweden.

Franklin erzählt, daß, als er zu Philadelphia eine Mondfinsterniß beobachten wollte, er daran durch einen Nordoststurm verhindert wurde, welcher sich gegen 7 Uhr Abends einstellte und den Himmel mit dichten Wolken überzog; er war überrascht, einige Tage nachher zu erfahren, daß der Sturm zu Boston, welches ungefähr 400 Meilen nordöstlich von Philadelphia liegt, erst um 11 Uhr Abends angefangen hatte, nachdem schon die ersten Phasen der Mondfinsterniß beobachtet worden waren. Indem er alle Berichte aus den verschiedenen Colonien mit einander verglich, bemerkte Franklin durchgängig, daß dieser Nordoststurm an den verschiedenen Orten um so später sich eingestellt hatte, je weiter sie nach Norden lagen.

Es ist bekannt, daß zwischen Häusern der Wind oft in anderer Richtung weht als über dem Gebäude, weil durch diese die Windrichtung auf mannigfache Art modificirt wird. Gerade so wie die Häuser können aber auch Gebirge locale Störungen in der Windrichtung bewirken.

Oft sieht man die Wolken in anderer Richtung ziehen, als die ist, welche die Windfahnen zeigen, und oft ziehen die höheren Wolken in anderer Richtung als die tiefer schwebenden, woraus hervorgeht, daß in verschiedenen Höhen Luftströmungen nach verschiedener Richtung stattfinden.

201 **Paſſatwinde und Mouſſons.** Als Columbus auf ſeiner Entdeckungsreiſe nach Amerika ſeine Schiffe durch einen beſtändigen Oſtwind fortgetrieben ſah, wurden ſeine Gefährten mit Schrecken erfüllt, weil ſie fürchteten, nimmer nach Europa zurückkehren zu können. Dieſer in den Tropen beſtändig von Oſten nach Weſten wehende Wind, welcher ſo ſehr das Erſtaunen der erſten Seefahrer des 15. Jahrhunderts erregte, iſt der Paſſatwind. Die Schiffer benutzen dieſen Wind, um von Europa nach Amerika zu ſegeln, indem ſie von Madeira aus ſüdlich bis in die Nähe des Wendekreiſes ſteuern, wo ſie dann durch den Paſſat nach Weſten getrieben werden. Dieſe Reiſe iſt ſo ſicher und die Arbeit der Matroſen dabei ſo gering, daß die ſpaniſchen Seeleute dieſen Theil des atlantiſchen Oceans den Frauengolf (el golfo de las Damas) nannten. Auch in der Südſee weht dieſer Wind, die ſpaniſchen Schiffer ließen ſich durch ihn in gerader Linie von Acapulco nach Manilla treiben.

Im atlantiſchen Ocean erſtreckt ſich der Paſſatwind bis zum 28.—30. Grade, im großen Ocean nur bis zum 25. Grade nördlicher Breite. In der nördlichen Hälfte der heißen Zone iſt die Richtung des Paſſatwindes eine nordöſtliche, je mehr er ſich aber dem Aequator nähert, deſto mehr wird ſeine Richtung rein öſtlich. Die Gränze des Paſſats iſt in der ſüdlichen Halbkugel weniger genau beſtimmt, dort aber hat der Paſſat eine ſüdöſtliche Richtung, die mehr und mehr öſtlich wird, je weiter er gegen den Aequator vordringt.

Dieſe Winde wehen rund um die ganze Erde, doch ſind ſie in der Regel erſt 50 Meilen weit vom feſten Lande entſchieden merklich.

Da, wo der Nordoſtpaſſat der nördlichen und der Südoſtpaſſat der ſüdlichen Hemiſphäre zuſammentreffen, combiniren ſie ſich zu einem rein öſtlichen Winde, der aber unmerklich wird, weil die horizontale Bewegung der durch die Intenſität der Sonnenſtrahlen ſtark erwärmten und deshalb mächtig aufſteigenden Luft eben durch dieſe vertikale Bewegung neutraliſirt wird. Es würde in dieſen Gegenden eine faſt vollkommene Windſtille herrſchen, wenn nicht die heftigen Stürme, welche die faſt täglich unter Donner und Blitz ſtattfindenden Regengüſſe begleiten, die Ruhe der Atmoſphäre ſtörten und das Wehen ſanfter regelmäßiger Winde unmöglich machten.

Dieſe Zone, welche die Paſſatwinde der beiden Hemiſphären trennt, iſt die Region der Calmen.

Das Kärtchen, Fig. 407 (a. f. S.), dient dazu, die Gegenden zu zeigen, in welchen die Paſſatwinde herrſchen. Die Mitte der Region der Calmen, welche im Durchſchnitte eine Breite von 6° hat, fällt nicht, wie man wohl erwarten ſollte, mit dem Aequator zuſammen, ſondern ſie liegt nördlich von demſelben. Während unſerer Sommermonate iſt der Gür-

tel der Calmen breiter, und seine nördliche Gränze entfernt sich mehr vom Aequator, während die südliche Gränze sich nur wenig ändert.

Fig. 407.

Die Ursache davon, daß die Region der Calmen auf der nördlichen Hemisphäre liegt, ist wohl in der Configuration der Continente zu suchen.

Die Passatwinde lassen sich leicht erklären. Die Luft, welche in den Aequatorialgegenden stark erwärmt in die Höhe steigt, erhebt sich über die kälteren Luftmassen zu beiden Seiten und strömt oben nach den Polen hin ab, während unten die Luft von den Polen her dem Aequator zufließt. Wenn die Erde keine Axendrehung hätte, so würde der Passatwind auf der nördlichen Halbkugel gerade von Norden nach Süden, auf der südlichen Hemisphäre aber in entgegengesetzter Richtung wehen. Nun aber dreht sich die Erde von Westen nach Osten, und das Luftmeer, welches sie umgiebt, theilt diese Rotationsbewegung.

Je näher ein Ort der Erdoberfläche den Polen liegt, desto langsamer wird er sich in dem während 24 Stunden zu beschreibenden Kreise fortbewegen, weil dieser Kreis um so kleiner ist, je weiter man sich vom Aequator entfernt. Demnach ist auch die Rotationsgeschwindigkeit der über der Erde ruhenden Luftmasse in der Nähe der Pole geringer als am Aequator; wenn nun eine Luftmasse aus höheren Breiten dem Aequator zugeführt wird, so langt sie mit geringerer Rotationsgeschwindigkeit über Ländern an, welche sich schneller von Westen nach Osten bewegen; in Beziehung auf diesen unter ihr sich fortbewegenden Boden hat sie also eine Bewegung von Osten nach Westen. Diese Bewegung combinirt sich mit der gegen den Aequator hin fortschreitenden Bewegung auf der nördlichen Halbkugel zu einem Nordost-, auf der südlichen aber zu einem Südostwinde.

Die in den Aequatorialgegenden aufsteigende Luft fließt in der Höhe nach beiden Seiten hin ab, um sich nach den Polen hin zu ergießen. Die Richtung dieses oberen Passates ist natürlich der des unteren gerade ent-

gegengesetzt, sie ist in der nördlichen Halbkugel eine südwestliche, in der südlichen Halbkugel eine nordwestliche.

Daß in den oberen Luftregionen wirklich ein Passat weht, welcher dem unteren entgegengesetzt ist, läßt sich durch Thatsachen beweisen; so wurde z. B. am 25. Februar 1835 bei einem Ausbruche des Vulkans von Cosiguina im Staate Guatimala die Asche bis in die Höhe des oberen Passates geschleudert, der sie in südwestlicher Richtung fortführte, so daß sie auf der Insel Jamaika niederfiel, obgleich in den unteren Regionen der Nordostpassat herrschte.

In größerer Entfernung vom Aequator senkt sich der obere Passat mehr und mehr gegen die Erdoberfläche. Auf dem Gipfel des Piks von Teneriffa herrschen fast immer Westwinde, während am Meeresspiegel der untere Passat weht.

Im indischen Oceane ist die Regelmäßigkeit der Passatwinde durch die Configuration der Ländermassen, welche dieses Meer umgeben, namentlich aber durch den asiatischen Continent, gestört. Im südlichen Theile des indischen Oceans, zwischen Neuholland und Madagaskar, herrscht noch das ganze Jahr hindurch der Südostpassat, in dem nördlichen Theile dieses Meeres aber weht während der einen Hälfte des Jahres ein beständiger Südwest-, während der anderen Hälfte des Jahres ein beständiger Nordostwind. Diese regelmäßig abwechselnden Winde werden Mousons genannt.

Der Südwestwind weht vom April bis zum October, während der übrigen Monate des Jahres weht der Nordostwind.

Während in den Wintermonaten der asiatische Continent erkaltet, die Sonne aber in südlicheren Gegenden eine größere Wärme erzeugt, muß natürlich ein Nordostpassat von dem kälteren Asien nach den heißeren Gegenden wehen. In dieser Zeit ist auch im indischen Oceane der Nordostpassat von dem Südostpassat durch die Region der Calmen getrennt.

Während des Sommers wird das Wehen des Südostpassates zwischen Neuholland und Madagaskar nicht gestört, in den nördlichen Theilen des indischen Oceans aber, in welchen im Winter ein Nordostwind geherrscht hatte, wird dieser in einen Südwestwind verwandelt, weil sich nun der asiatische Continent so stark erwärmt und also eine Luftströmung nach Norden hin veranlaßt, welche durch die Rotation der Erde in einen Südwestwind verwandelt wird.

202 **Winde in höheren Breiten.** Der obere Passat, welcher die Luft von den Aequatorialgegenden zurückführt, senkt sich, wie schon erwähnt wurde, immer mehr und erreicht endlich als Südwestwind den Boden; außerhalb der Region der Passatwinde gehen daher die beiden Luftströmungen, welche die Luft von den Polen zum Aequator und vom Aequa-

tor zurück nach den Polen führen, nicht mehr über einander, ſondern neben einander her, ſie ſtreben einander gegenſeitig zu verdrängen, bald erlangt der Südweſt, bald der Nordoſt die Ueberhand, und bei dem Uebergange aus einer dieſer Windrichtungen in eine andere ſehen wir die Zwiſchenwinde nach allen Richtungen der Windroſe wehen.

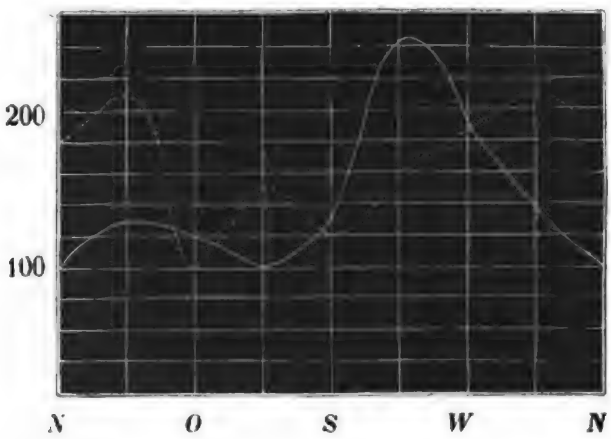
Obgleich auch in höheren Breiten Südweſt und Nordoſt die herrſchenden Winde ſind, ſo findet zwiſchen ihnen doch keine ſo regelmäßige periodiſche Abwechſelung Statt wie bei den Mouſſons im indiſchen Oceane.

Die folgende Tabelle giebt die Häufigkeit der Winde in verſchiedenen Ländern an; ſie giebt nämlich an, wie oft im Durchſchnitte unter je 1000 Tagen ein jeder der 8 Hauptwinde weht.

Länder.	N.	N. O.	O.	S. O.	S.	S. W.	W.	N. W.
England . . .	82	111	99	81	111	225	171	120
Frankreich . .	126	140	84	76	117	192	155	110
Deutſchland .	84	98	119	87	97	185	198	131
Dänemark . .	65	98	100	129	92	198	161	156
Schweden . .	102	104	80	110	128	210	159	106
Rußland . .	99	191	81	130	98	143	166	192
Nordamerika	96	116	49	108	123	197	101	210

Wir ſehen aus dieſer Tabelle, daß im weſtlichen Europa die Südweſtwinde entſchieden vorherrſchen, beſonders iſt dies in England der Fall, in Rußland dagegen ſind die Nordoſt- und Nordweſtwinde vorherrſchend. Dieſe Unterſchiede zwiſchen der vorherrſchenden Windrichtung in England und Rußland ſind in Fig. 408 noch anſchaulicher gemacht. Die Ordinaten

Fig. 408.



der ausgezogenen Kurve in den mit *N*, *O*, *S* und *W* bezeichneten Punkten ſind der Anzahl der Tage proportional, an welchen in England im Durchſchnitt unter je tauſend Tagen der Nord-, der Oſt-, der Süd- und der Weſtwind herrſcht; ebenſo ſind die zwiſchen dieſen in der Mitte liegenden Ordinaten der Anzahl der Tage proportional, an welchen die Zwiſchenwinde beobachtet werden. Auf dieſelbe Weiſe iſt die punktirte Kurve für die ruſſiſchen Windverhältniſſe conſtruirt.

Der Südweſtwind, welcher im weſtlichen Europa vorherrſcht, iſt auch auf dem atlantiſchen Oceane zwiſchen Europa und Nordamerika der herrſchende Wind, und daher kommt es, daß die Ueberfahrt von England nach Nordamerika in der Regel länger dauert als die Rückfahrt. Die Packetboote, welche zwiſchen Liverpool und New-York fahren, legen den Hinweg durchſchnittlich in 40, den Rückweg in 23 Tagen zurück.

Dem im weſtlichen Europa vorherrſchenden Südweſtſtrome, welcher über die warmen Gewäſſer des atlantiſchen Oceans geſtrichen iſt und ſich dadurch mit Waſſerdämpfen beladen hat, verdankt dieſes Land ſein Küſtenklima. Selbſt im weſtlichen Europa tritt der Charakter des Seeklimas, nämlich milde Winter und kühle Sommer mit häufigem Regen, in ſolchen Jahren entſchiedener auf, in welchen der Südweſtwind häufiger weht, in ſolchen Jahren hingegen, in welchen die nordöſtliche Strömung länger herrſcht als gewöhnlich, nähert ſich der Charakter der Witterung mehr dem des Continentalklimas. So wehten z. B. im Jahre 1816 zu Paris die Nord-, Nordoſt-, Oſt- und Südoſtwinde 111 Tage, die übrigen Regen bringenden Winde aber 255 Tage lang, und dieſes Jahr war bekanntlich ein ungemein feuchtes; die Regenmenge betrug 54,5^{cm}, die mittlere Temperatur des wärmſten Monats war nur 15,6, die des kälteſten 2,6^{0}. Im Jahre 1826 wehten dagegen zu Paris die *N*, *NO*, *O* und *SO* Winde 156 Tage, die übrigen 209 Tage lang; die Regenmenge betrug in dieſem Jahre nur 47,2^{cm}, die mittlere Temperatur des wärmſten Monats war 21,2^{0}, die des kälteſten — 1,7^{0}. Das Jahr 1826 war alſo trockener, ſein Sommer heißer und ſein Winter kälter als im Jahre 1816.

Wenn in gewiſſen Gegenden der nördlichen Hemiſphäre die Südweſtwinde die herrſchenden ſind, ſo ſollte man meinen, daß in anderen Gegenden der Nordoſtſtrom vorherrſchen müſſe, da doch die Luft zum Aequator zurückkehren muß; Dove meint, daß die Krümmung der Iſothermen darauf hindeutet, daß über die Continente der alten und neuen Welt auf der nördlichen Halbkugel zwei nördliche Ströme gehen, über die zwiſchenliegenden Oceane aber zwei ſüdliche, die ſich eine gewiſſe Strecke weit über die Continente ausbreiten.

Die Exiſtenz eines vorherrſchenden Nordoſtſtroms im Innern der Continente iſt jedoch von Anderen in Zweifel gezogen worden, und in der That

zeigen alle bis jetzt gemachten Erfahrungen, daß in höheren Breiten der nördlichen Hemisphäre entweder Südwest- oder Westwinde vorherrschen. Es scheint darin aber ein Widerspruch zu liegen, es scheint nämlich, als ob auf diese Weise dem Pole mehr Luft zuströmt, als nach dem Aequator zurückkehrt. Dieser Widerspruch läßt sich aber heben, wenn man bedenkt, daß der Südweststrom wärmere, weniger dichte Luft mit sich führt, besonders aber, daß er eine Menge von Wasserdämpfen nach höheren Breiten bringt, welche, hier condensirt, als Regen oder Schnee niederfallen; nach dem Aequator strömt aber nur die ihres Wasserdampfes beraubte Luft in nordöstlicher Richtung zurück; es muß also in der That dem Pole eine größere Gasmenge zuströmen, weil ein Theil dieser Gase, nämlich der Wasserdampf, nicht in Gasform nach dem Aequator zurückströmt.

Gesetz der Winddrehung. Obgleich bei einer oberflächlichen Betrach- 203
tung in unseren Gegenden die Aenderungen in der Windrichtung ganz regellos zu seyn scheinen, so haben doch aufmerksamere Beobachter schon lange die Bemerkung gemacht, daß die Winde in der Regel in folgender Ordnung auf einander folgen:

S, SW, W, NW, N, NO, O, SO, S.

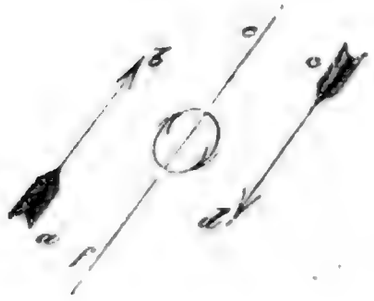
Am regelmäßigsten läßt sich diese Drehung des Windes während des Winters beobachten; die mit diesem Umschlagen zusammenhängenden Veränderungen des Barometers und des Thermometers hat Dove sehr schön mit folgenden Worten geschildert:

»Wenn der Südwest, immer heftiger wehend, endlich vollkommen durchgedrungen ist, erhöht er die Temperatur über den Gefrierpunkt, es kann daher nicht mehr scheinen, sondern es regnet, während das Barometer seinen niedrigsten Stand erreicht. Nun dreht sich der Wind nach West, und der dichte Flockenschnee beweist ebenso gut den einfallenden kälteren Wind als das rasch steigende Barometer, die Windfahne und das Thermometer. Mit Nord heitert der Himmel sich auf, mit Nordost tritt das Maximum der Kälte und des Barometers ein. Aber allmälig beginnt dieses zu fallen, und feine Cirri zeigen durch die Richtung ihres Entstehens den eben eingetretenen südlicheren Wind, den das Barometer schon bemerkt, wenn auch die Windfahne noch nichts davon weiß und noch ruhig Ost zeigt. Doch immer bestimmter verdrängt der südliche Wind den Ost von oben herab, bei entschiedenem Fallen des Quecksilbers wird die Windfahne *SO*, der Himmel bezieht sich allmälig immer mehr, und mit steigender Wärme verwandelt sich der bei *SO* und *S* fallende Schnee bei *SW* wieder in Regen. Nun geht es von Neuem an, und höchst charakteristisch ist der Niederschlag auf der Ostseite von dem auf der Westseite gewöhnlich durch eine kurze Aufhellung getrennt.«

Nicht immer läßt ſich die Drehung des Windes ſo rein beobachten, wie es eben angeführt wurde, indem häufig ein Zurückſpringen des Windes ſtattfindet; ein ſolches Zurückſpringen wird aber weit häufiger auf der Weſtſeite der Windroſe beobachtet als auf der Oſtſeite. Eine vollſtändige Umdrehung des Windes in entgegengeſetzter Richtung, nämlich von *S* nach *O*, *N*, *W*, wird in Europa höchſt ſelten beobachtet.

Das eben beſprochene Geſetz der Winddrehung hat Dove auf eine ſehr ſcharfſichtige Weiſe erklärt. Zwei in entgegengeſetzter Richtung neben einander fließende Luftſtröme werden da, wo ſie ſich berühren, einander gegenſeitig hemmen und dadurch nothwendig Wirbel erzeugen. Wenn nun in der Richtung *ab* ein Südweſt-, in der Richtung *cd* ein Nordoſtwind weht, ſo werden ſich an der Gränze *ef* der beiden Ströme Wirbel in der in der Figur angedeuteten Richtung bilden müſſen; die Drehung des Windes in der erwähnten Richtung iſt eine Folge dieſer Wirbel.

Fig. 409.



Die Gränze, welche die beiden Ströme trennt, iſt eine in der Richtung von *SW* nach *NO* fortlaufende Linie, die, parallel mit ſich ſelbſt, bald mehr nach Oſten, bald mehr nach Weſten vorrückt. Wir befinden uns entweder nahe an der öſtlichen Gränze des Südweſtſtromes, oder nahe an der weſtlichen Gränze des Nordoſtſtromes. Wenn wir uns entſchieden im Südweſtſtrome befinden, wenn alſo die Gränze der beiden entgegengeſetzten Luftſtrömungen öſtlich von uns liegt, ſo herrſcht bei unveränderter Windrichtung und niedrigem Barometerſtande ein anhaltendes Regenwetter. Rückt die Gränze des Nordoſt- und des Südweſtſtromes nun nach Weſten vor, ſo wird, wenn dieſe Gränze an dem Beobachtungsorte anlangt, der Wind durch *W* nach *NO* umſchlagen, und wenn wir uns dann in der Mitte des oft Wochen lang ruhig fortfließenden Nordoſtſtromes ſelbſt befinden, bleibt der Himmel heiter; im Winter findet dann ſtrenge Kälte, im Sommer trockene Hitze Statt. Das Wetter ändert ſich erſt, wenn der Nordoſt allmälig wieder durch den Südweſtſtrom verdrängt wird, wobei dann natürlich der Wind durch Oſt, Südoſt und Süd umſchlagen muß.

Bei Oſt- und Weſtwinden, wenn wir uns alſo in den an der Gränze der beiden Hauptſtröme gebildeten Wirbeln befinden, wehen die Winde oft in verſchiedenen Richtungen über einander her, die Windfahne zeigt eine andere Windrichtung als der Wolkenzug; iſt aber der nordöſtliche oder der ſüdweſtliche Strom entſchieden durchgedrungen, ſo iſt dies nicht mehr der Fall.

Die Periode einer vollständigen Umdrehung des Windes durch alle Richtungen der Windroſe iſt bald von kürzerer, bald von längerer Dauer.

Drehuugen im entgegengeſetzten Sinne, nämlich

$$S, O, N, W, S,$$

werden da vorkommen müſſen, wo der Südweſtſtrom auf der Oſtſeite des Nordoſtſtromes herrſcht. Bei den Seemouſſons zeigt ſich die der europäiſchen entgegengeſetzte Richtung entſchieden (Dove, Pogg. Ann. Bd. 13), und ſpricht für die Annahme, daß über dem aſiatiſchen Continente ein nordöſtlicher, zu beiden Seiten aber der ſüdweſtliche Strom herrſchend ſey.

Die Wirbel, welche durch den Kampf der ſich gegenſeitig verdrängenden Hauptſtröme entſtehen, können nur ſelten an einem Orte vollſtändig beobachtet werden, weil dieſe Wirbel ſelbſt eine fortſchreitende Bewegung haben; durch die Aufeinanderfolge neuer Wirbel wird aber ein Zurückſpringen des Windes erzeugt, und zwar um ſo häufiger, je größer die fortſchreitende Geſchwindigkeit der Wirbel iſt. Da nun die Intenſität des ſüdweſtlichen Stromes größer iſt als die des nordöſtlichen, ſo wird das Zurückſpringen des Windes auch häufiger auf der Weſtſeite der Windroſe ſtattfinden als auf der Oſtſeite.

Gegen dieſe Erklärung des Geſetzes der Winddrehung hat Schouw (Pogg. Ann. Bd. 14) eingewendet, daß die Exiſtenz eines vorherrſchenden Nordoſtſtromes auf den großen Continenten durchaus nicht erwieſen ſey. In Petersburg iſt NW die herrſchende Windrichtung, und nach Georges Reiſe ſind auch im öſtlichen Sibirien W und N die herrſchenden Winde. In Nordamerika iſt die weſtliche Richtung der Winde ebenfalls überwiegend. Ferner macht Schouw darauf aufmerkſam, daß nach Dove's Erklärung auch an den Oſtküſten von Nordamerika der Wind ſich in einer Richtung drehen müſſe, welche der in Europa gewöhnlichen gerade entgegengeſetzt iſt.

Dove hat ſpäter das Geſetz der Winddrehung auf folgende Weiſe erklärt (Pogg. Ann. Bd. 36):

Wird die Luft durch irgend eine Urſache von den Polen nach dem Aequator getrieben, ſo kommt ſie von Orten, deren Rotationsgeſchwindigkeit geringer iſt, an andere Orte, welche eine größere Rotationsgeſchwindigkeit beſitzen; ihre Bewegung erhält dadurch eine öſtliche Richtung, wie wir ſchon beim Paſſatwinde geſehen haben. Auf der nördlichen Halbkugel gehen deshalb die Winde, welche als Nordwinde entſtehen, bei ihrem allmäligen Fortrücken durch NO in O über. Iſt auf dieſe Weiſe ein Oſtwind entſtanden, ſo wird dieſer, wenn die Urſache fortdauert, welche die Luft nach dem Aequator hintreibt, hemmend auf den Polarſtrom wirken, die Luft wird die Rotationsgeſchwindigkeit des Ortes annehmen, über wel-

chem ſie ſich befindet, und wenn nun die Tendenz, nach dem Aequator zu ſtrömen, immer noch fortdauert, ſo ſpringt der Wind nach Norden zurück, und dieſelbe Reihe von Erſcheinungen wiederholt ſich.

Wenn aber, nachdem die Polarſtröme eine Zeitlang geherrſcht haben und die Windrichtung öſtlich geworden iſt, Aequatorialſtröme eintreten, ſo wird der Oſtwind durch Südoſt nach Süd umſchlagen. Wenn die Luft von Süden nach Norden fortſtrömt, ſo gelangt ſie mit der größeren Rotationsgeſchwindigkeit derjenigen Parallelkreiſe, welche dem Aequator näher liegen, an Orte, welche eine geringere Rotationsgeſchwindigkeit haben; ſie wird alſo der von Weſten und Oſten rotirenden Erdoberfläche mit noch größerer Rotationsgeſchwindigkeit gleichſam voraneilen, die ſüdliche Windrichtung wird allmälig ſüdweſtlich und dann ganz weſtlich werden müſſen. Bei fortdauernder Tendenz der Luft, nach dem Pole zu ſtrömen, wird der Wind alsbald wieder nach Süd zurückſpringen, gerade ſo, wie der Oſt nach Norden zurückſpringt; wenn aber die Aequatorialſtrömung durch eine Polarſtrömung verdrängt wird, ſo ſchlägt der Weſtwind durch Nordweſt nach Norden um.

Auf der ſüdlichen Halbkugel muß der Wind in entgegengeſetzter Richtung umſchlagen.

Wo in den Tropen die Paſſatwinde wehen, giebt es an der Erdoberfläche ſelbſt gar keine vollſtändige Drehung, die Richtung des Paſſates wird nur bei ſeinem Vordringen immer mehr öſtlich.

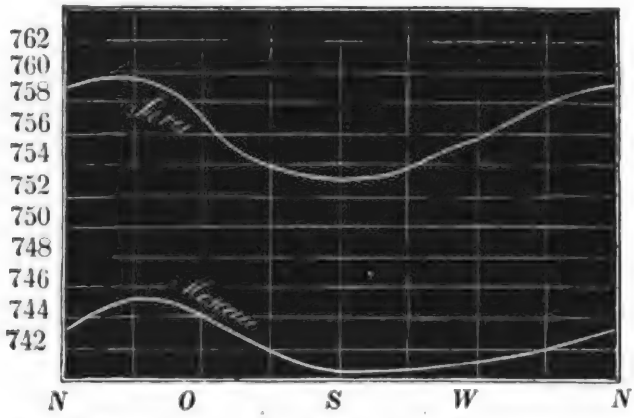
In der Region der Mouſſons findet im Laufe eines ganzen Jahres nur eine einzige Drehung Statt. Man ſieht alſo, daß die Windverhältniſſe der Tropen der einfachſte Fall des Drehungsgeſetzes ſind.

204 **Barometriſche und thermometriſche Windroſe.** Es iſt ſchon mehrfach erwähnt worden, daß die Windrichtung einen weſentlichen Einfluß auf die Höhe der Queckſilberſäule im Barometer hat. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Barometerhöhe für jeden der 8 Hauptwinde an mehreren Orten Europa's an.

Winde.	London.	Paris	Berlin.	Moskau.
N	759,20	759,09	758,68	743,07
N O	760,71	759,49	759,36	745,06
O	758,93	757,24	758,77	743,90
S O	756,83	754,03	754,69	741,74
S	754,37	753,15	751,33	740,63
S W	755,25	753,52	752,57	740,34
W	757,28	755,57	756,00	741,06
N W	758,03	757,78	756,62	741,76

Nach dieſer Tabelle ſind die Kurven Fig. 410 für Paris und Moskau

Fig. 410.



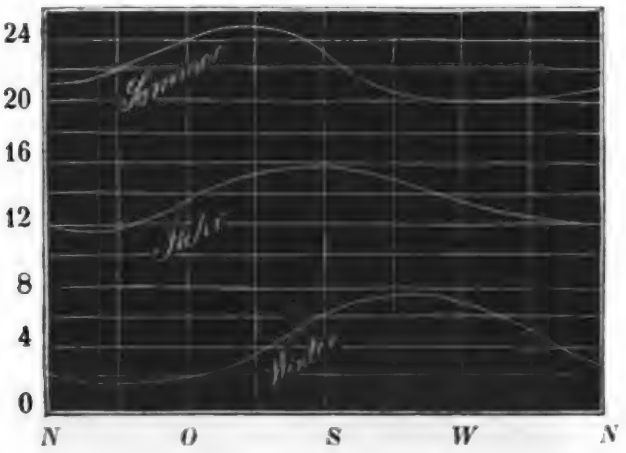
conſtruirt. Man ſieht, daß in der That den Nordoſtwinden der höchſte, den Süd- und Südweſtwinden der niedrigſte Barometerſtand entſpricht.

Indem man die mittlere Temperatur aller derjenigen Tage nimmt, an welchen im Laufe des Jahres ein und derſelbe Wind weht, erhält man die mittlere Temperatur dieſes Windes. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Temperatur der Hauptwinde für mehrere Orte an.

Winde.	Paris.	Carlsruhe.	London.	Moskau.
N	12,03	9,88	8,00	1,21
N O	11,76	8,30	7,63	1,44
O	13,50	8,51	8,38	3,53
S O	15,25	12,20	9,50	4,63
S	15,43	12,61	10,00	5,96
S W	14,93	11,00	10,13	5,69
W	13,64	12,20	9,25	5,49
N W	12,39	11,50	8,38	3,33

Nach dieſer Tabelle iſt für Paris die mittlere der drei Kurven in Fig. 411 conſtruirt. Man ſieht, wie für Paris, ſowie für die anderen ange-

Fig. 411.



führten Orte die Temperatur der Luft im Durchſchnitt für die nördlichen Winde niedriger iſt als für die ſüdlichen. Die obere der drei Kurven zeigt, wie ſich im Durchſchnitt die mittlere Temperatur zu Paris im Sommer mit der Windrichtung ändert. Während dieſer Jahreszeit bringen die Südweſt-, Weſt- und Nordweſtwinde die niedrigſte Temperatur, weil ſie von einem bedeckten Himmel begleitet ſind, welcher die Erwärmung des Bodens hindert, die Südoſtwinde bringen dagegen im Sommer die größte Wärme. Im Winter iſt es, wie die untere Kurve zeigt, am kälteſten, wenn Nord-, Nordoſt- und Oſtwinde wehen, weil ſie an und für ſich von kälteren Ländern kommen und weil ſie den Himmel heiter machen, wodurch die nächtliche Wärmeſtrahlung befördert wird; wogegen die Erwärmung durch die Sonnenſtrahlen während des kurzen Tages nur unbedeutend iſt; die Süd-, Südweſt- und Weſtwinde hingegen ſind an und für ſich wärmer und hindern die nächtliche Strahlung, da ſie den Himmel bedeckt machen.

205 **Stürme.** Die Stürme ſind Folgen einer bedeutenden Störung im Gleichgewichte der Atmoſphäre und höchſt wahrſcheinlich rührt dieſe Störung von einer raſchen Condenſation der Waſſerdämpfe her, wie dies ſchon oben angedeutet wurde. Nach der Anſicht von Brandes entſtehen die Stürme dadurch, daß die Luft mit Gewalt von allen Seiten dem Orte der Verdünnung zuſtrömt, während das Minimum des Luftdrucks ſelbſt eine fortſchreitende Bewegung hat. Auf dieſe Weiſe erklärt es ſich, daß das Barometer bei Stürmen ſo tief ſinkt. Dieſe Anſicht hat auch in Amerika an Espy einen Vertheidiger gefunden.

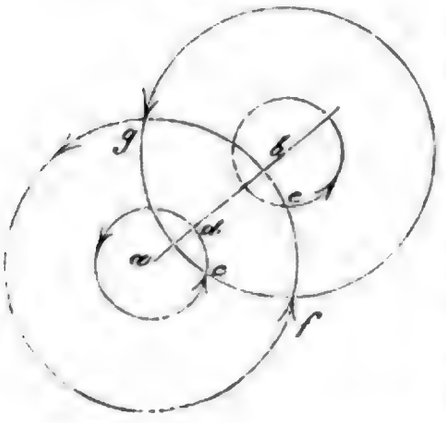
Gegen dieſe Theorie hat Dove eingewendet, daß die Richtung des Windes, wie man ſie zu beiden Seiten der Linie, nach welcher das Mi-

nimum des Luftdrucks fortrückt, vor, während und nach dem Sturme beobachtet, nicht ganz mit dieser Ansicht übereinstimmt. Während des Sturmes am 21. December 1821 ging die Linie des am meisten verminderten Luftdrucks von Brest nach der Südspitze von Norwegen; zu Anfange des Sturmes hätte also von allen Seiten her der Wind nach Brest hin blasen, es hätte also in London zu Anfange des Sturmes ein Nordost-, in Paris ein Ostwind wehen müssen, während den Beobachtungen zufolge der Wind zu Anfange des Sturmes zu London ein Südost, in Paris ein Südwind war. Zu Ende des Sturmes hätte der Wind nach der Südspitze von Norwegen hin wehen, er hätte also in London und Paris ein Südwest seyn müssen, während in der That an beiden Orten der Wind während des Sturmes durch Südwest nach West und Westnordwest umschlug.

Dove hat eine andere Theorie der Stürme aufgestellt, nach welcher sie Wirbelwinde sind, in denen die Luft nach einer bestimmten Richtung rotirt, während diese Wirbel zugleich eine fortschreitende Bewegung haben. Auf der nördlichen Hemisphäre außerhalb der Tropen schreiten die Wirbel in südwestlicher Richtung voran, die Rotationsrichtung ist aber *SONW*. Nach dieser Theorie wäre bei dem erwähnten Sturme zu Anfange desselben Brest, zu Ende desselben die Südspitze von Norwegen der Mittelpunkt des Wirbels gewesen.

In Fig. 412 stelle *a b* die Linie vor, nach welcher das Minimum des Luftdrucks fortschreitet; für den speciellen Fall also, den wir eben betrachtet haben, wäre *a* etwa Brest, *b* die Südspitze von Norwegen. Die um *a* gezogenen Kreise stellen die Wirbel zu Anfang, die um *b* gezogenen aber zu Ende des Sturmes dar. Man sieht, daß nach dieser Theorie in der That südöstlich von der Linie *a b* ein Südost- oder Südwind wehen muß, z. B. in *d* und *e* Südost, in *c* und *f* Süd; zu Ende des Sturmes aber wird an diesen Orten, wie man aus den um *b* gezogenen Kreisen sieht, der Wind eine westliche Richtung haben; der Wind schlägt also hier von Südost und Süd nach West um. Auf der Nordwestseite der Linie *a b* schlägt der Wind in entgegengesetzter Richtung um, er ist z. B. in *g* zu Anfang des Sturmes ein Ost-, zu Ende des Sturmes ein Nordwind.

Fig. 412.



Auf der südlichen Halbkugel ist die Rotationsrichtung der Wirbel die entgegengesetzte und außerhalb der Tropen schreiten sie in nordwestlicher Richtung vorwärts.

Innerhalb der Tropen iſt auf der nördlichen Halbkugel die Richtung der Stürme eine ſüdöſtliche, auf der ſüdlichen eine nordöſtliche; ſowie aber die Stürme die Gränze des Paſſats erreichen, biegen ſie um, indem ſie auf der nördlichen Halbkugel eine ſüdweſtliche, auf der ſüdlichen eine nordweſtliche Richtung annehmen.

Die wirbelnde Bewegung leitet Dove daraus ab, daß eine durch irgend einen Impuls von dem Aequator nach einem Pole, etwa dem Nordpole, hingetriebene Luftmaſſe gegen ruhende Luft gleichſam anſtößt.

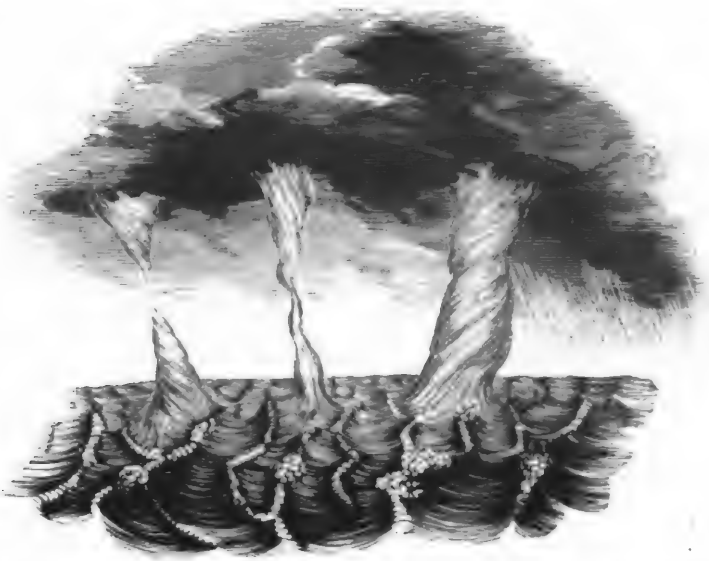
Die Dove'ſche Theorie ſtimmt, wie wir geſehen haben, ſehr gut mit der Erſcheinung überein, doch läßt ſich nicht leugnen, daß ſie wenigſtens in ihrer jetzigen Form noch Manches im Dunkel läßt. So ſpricht ſie ſich über die Urſache dieſer großen Aufregung der Atmoſphäre gar nicht aus, man ſieht auch nicht recht klar ein, in welchem Zuſammenhange die Wirbel mit der außerordentlichen Verminderung des Luftdrucks ſtehen, d. h. man begreift nicht recht, wie es kommt, daß, wenn eine Luftmaſſe durch irgend einen Impuls vom Aequator nach den Polen hin in Bewegung geſetzt wird und gegen eine ruhende Luftmaſſe ſtößt, eine ſo ſtarke Verminderung des Luftdrucks ſtattfinden kann.

In den Tropen wüthen die Stürme ungleich heftiger als in höheren Breiten; die Zerſtörungen der Orkane, welche man in Amerika mit dem Namen der Tornados bezeichnet, ſind wahrhaft fürchterlich. So wurden z. B. durch den Sturm, welcher am 25. Juli Guadeloupe verwüſtete, ſolid gebaute Häuſer umgeriſſen; Kanonen wurden bis zur Brüſtung der Batterie, auf welcher ſie ſtanden, fortgeſchleudert, ein Brett von ungefähr 3 Fuß Länge, 8 Zoll Breite und 10 Linien Dicke wurde mit ſolcher Geſchwindigkeit durch die Luft gejagt, daß es den Stamm eines Palmbaumes, welcher ungefähr 17 Zoll im Durchmeſſer hatte, durch und durch bohrte.

Oft ſieht man bei ruhigem Wetter, wie Sand und Staub durch den Wind in wirbelnder Bewegung fortgeführt werden. Bei herannahenden Gewittern ſieht man ſchon größere Luftwirbel der Art, welche Staub, Blätter, Stroh u. ſ. w. mit in die Höhe nehmen. Die Tromben ſind nichts Anderes als ſolche Wirbel in größerem Maßſtabe; ſie werden in der Regel durch den Kampf zweier in den oberen Luftregionen in entgegengeſetzter Richtung wehender Winde erzeugt. Sie bilden gewöhnlich einen Doppelkegel; der obere Theil deſſelben, deſſen Spitze herabgeſenkt iſt, beſteht aus einer Wolkenmaſſe, während der untere Kegel, deſſen Spitze nach oben gerichtet iſt, aus Waſſer beſteht, wenn das Meteor auf dem Meere oder über Seen und Flüſſen ſich bildet, oder aus Sand und ſonſtigen feſten Körpern, wenn die Trombe über das Land herzieht. Solche Tromben ſind im Stande, Bäume zu entwurzeln, Häuſer abzudecken, Balken mehrere hundert Schritte

weit fortzuſchleudern u. ſ. w. Die Waſſertromben ſind unter dem Namen

Fig. 413.



der Waſſerhoſen bekannt; ſie heben das Waſſer oft bis zu einer Höhe von vielen hundert Fußen.

Viertes Kapitel.

Von der atmoſphäriſchen Feuchtigkeit.

Verbreitung des Waſſerdampfes in der Luft. Wenn man an 206
einem heißen Sommertage eine mit Waſſer gefüllte Schale ins Freie ſtellt, ſo ſieht man die Quantität des Waſſers raſch abnehmen, es verdunſtet, das heißt: es geht in Dampfgeſtalt über und verbreitet ſich in der Luft. Der Waſſerdampf iſt wie jedes andere farbloſe durchſichtige Gas für unſere Blicke unſichtbar, das Waſſer ſcheint, indem es verdunſtet, gänzlich verſchwunden zu ſeyn.

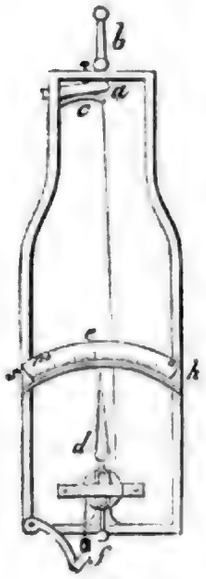
Das in der Luft verbreitete Waſſer wird erſt wieder ſichtbar, wenn es, in ſeinen flüſſigen Zuſtand zurückkehrend, Nebel oder Wolken, Thau oder Reif bildet. Wenn man ſich von der Exiſtenz des Waſſerdampfes in der Luft überzeugen will, muß man ihn auf irgend eine Weiſe verdichten.

Ganz unmittelbar erhält man die Menge des in einem beſtimmten Volumen Luft enthaltenen Waſſerdampfs, wenn man die Luft durch ein mit hygroſkopiſchen Subſtanzen gefülltes Rohr ſaugt. Um ein regelmäßiges Durchſtreichen der Luft durch das Abſorptionsrohr zu bewirken, wendet man einen Aſpirator an. Es iſt dies im Weſentlichen ein bis auf zwei Oeffnungen verſchloſſenes mit Waſſer gefülltes Gefäß; aus der einen Oeffnung fließt durch ein Rohr beſtändig Waſſer ab, die andere Oeffnung iſt mit dem Abſorptionsrohre in Verbindung, ſo daß hier eine dem ausfließenden Waſſer gleiche Menge getrockneter Luft eintritt. Wie viel Waſſerdampf in der durch das Abſorptionsrohr geſaugten Luftmenge enthalten war, ergiebt ſich, wenn man dies Rohr vor und nach dem Verſuche wägt.

Dieſe Beſtimmungsweiſe des Waſſergehaltes der Luft mit dem Aſpirator, dem man verſchiedene, bald mehr, bald weniger zweckmäßige Formen gegeben hat, iſt allerdings etwas umſtändlich und giebt auch nicht den Waſſergehalt der Luft in einem beſtimmten Momente, ſondern den mittleren Waſſergehalt während der ganzen Dauer des Verſuches; man hat deshalb kleinere, leichter transportabele Apparate conſtruirt, welche unter dem Namen der Hygrometer bekannt ſind.

Es iſt bekannt, daß viele organiſche Körper die Eigenſchaft haben, Waſſerdampf zu abſorbiren und ſich dabei verhältnißmäßig zu verlängern. Unter anderen ſind auch Haare, Fiſchbein u. ſ. w. ſolche hygroſkopiſche Körper, und man benutzte ſie deshalb zur Conſtruction von Hygrometern. Das beſte Inſtrument der Art iſt das von Sauſſure angegebene Haarhygrometer, welches Fig. 414 abgebildet iſt.

Fig. 414.



Das Haar iſt mit ſeinem oberen Ende an einem Züngelchen *a* befeſtigt, das andere Ende aber iſt um eine mit zwei Rinnen verſehene Rolle geſchlungen, während in der anderen Rinne um die Rolle ein Seidenfaden geſchlungen iſt, an welchem ein kleines Gewicht *f* hängt, durch welches das Haar beſtändig geſpannt erhalten wird. An der Axe der Rolle iſt ein Zeiger *d* befeſtigt, welcher auf dem Gradbogen *s h* hin- und hergeht, wenn die Rolle durch die Verlängerung oder Verkürzung des Haares gedreht wird.

Wenn ſich das Inſtrument in feuchter Luft befindet, ſo abſorbirt das Haar viel Waſſerdampf und wird dadurch länger, in trockener Luft aber verkürzt es ſich, wodurch natürlich der Zeiger bald nach er einen, bald nach der anderen Seite gedreht wird.

Die Graduirung des Instrumentes wird auf folgende Weise bewerkstelligt. Zuerst bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren innerer Raum durch Chlorcalcium oder durch Schwefelsäure ausgetrocknet wird. Die Stelle der Scala, auf welcher sich der Zeiger unter diesen Verhältnissen feststellt, ist der Punkt der größten Trockenheit, er wird mit 0 bezeichnet.

Nun bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren Wände mit destillirtem Wasser befeuchtet sind, während auch auf dem Boden, auf welchem die Glocke steht, destillirtes Wasser ausgebreitet ist. Der Raum unter der Glocke sättigt sich bald mit Wasserdampf, und der Zeiger geht nach dem anderen Ende der Scala hin. Der Punkt, wo er sich jetzt feststellt, ist der Punkt der größten Feuchtigkeit, er wird mit 100 bezeichnet.

Der Zwischenraum zwischen diesen beiden Punkten wird in 100 gleiche Theile getheilt, welche man Feuchtigkeitsgrade nennt.

Das auf diese Weise graduirte Hygrometer giebt zwar die äußerste Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft an, es zeigt, ob sich die Luft dem Sättigungspunkte mehr oder weniger nähert, man kann aber aus den Hygrometergraden keinen directen Schluß auf die Spannkraft des Wasserdampfes in der Atmosphäre machen. Wie groß die jedem Hygrometergrade entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes in der Luft ist, kann nur auf empirischem Wege ermittelt werden.

Gay-Lussac verfuhr folgendermaßen: Er bestimmte zunächst die Spannkraft verschiedener Flüssigkeiten bei einer Temperatur von 10°; alsdann brachte er sein Instrument bei derselben Temperatur der Reihe nach mit diesen Flüssigkeiten unter die Glocke und notirte jedesmal die Grade, bei welchen sich das Instrument einstellte. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche.

Namen der Flüſſigkeit.	Specifiſches Gewicht bei 10° C.	Spannkraft des Dampfes, wenn man die Spannkraft des Waſſerdampfes bei 10° mit 100 bezeichnet.	Grade des Haarhygrometers, bei welchen ſich der Zeiger für die verſchiedenen Flüſſigkeiten einſtellte.
Waſſer	1,000	100,0	100,0
Löſung von ſalzſaurem Natron .	1,096	90,6	97,7
desgl.	1,163	82,3	92,2
desgl.	1,205	75,9	87,4
Salzſaurer Kalk	1,274	66,0	82,0
desgl.	1,343	50,5	71,0
desgl.	1,397	37,6	61,3
Schwefelſäure	1,493	18,1	33,1
desgl.	1,541	12,2	25,3
desgl.	1,702	2,4	6,1
desgl.	1,848	0	0

Er fand alſo z. B., daß bei 10° die Dämpfe einer Auflöſung von ſalzſaurem Kalk, deren ſpecifiſches Gewicht 1,274 iſt, 66 Procent von der Spannkraft der Waſſerdämpfe ſind, welche bei derſelben Temperatur über reinem Waſſer ſich bilden; wenn aber das Hygrometer unter eine Glocke gebracht wird, deren Wände mit dieſer Löſung befeuchtet ſind, ſo ſtellt es ſich auf 82 Grad, man kann daraus den Schluß ziehen, daß der Theilſtrich 82 des Hygrometers einen Feuchtigkeitsgehalt der Luft anzeigt, welcher 66 Procent des zur Sättigung nöthigen beträgt. Nach dieſen Beobachtungen hat Gay-Luſſac durch Interpolation eine Tabelle berechnet, welche den jedem einzelnen Hygrometergrade entſprechenden Feuchtigkeitsgehalt der Luft angiebt. Wir geben hier dieſe Tabelle nur von 10 zu 10 Grad.

Hygrometergrade.	Entſprechende Feuchtigkeit der Luft.
0	0
10	4,57
20	9,45
30	14,78
40	20,78
50	27,79
60	36,28
70	47,19
80	61,22
90	79,09
100	100,00

Wenn alſo das Hygrometer auf 60° ſteht, ſo enthält die Luft 36,28 Procent desjenigen Waſſerdampfes, welchen ſie enthalten müßte, um geſättigt zu ſeyn.

Dieſe Tabelle iſt jedoch nur für Temperaturen ganz zuläſſig, welche nicht viel von 10° verſchieden ſind.

Regnault hat neuerdings auch Unterſuchungen über das Haarhygrometer angeſtellt. Er fand es zweckmäßiger, die Haare mit Aether zu entfetten, ſtatt ſie in einer Sodalöſung zu kochen, wie es Sauſſure angegeben hatte.

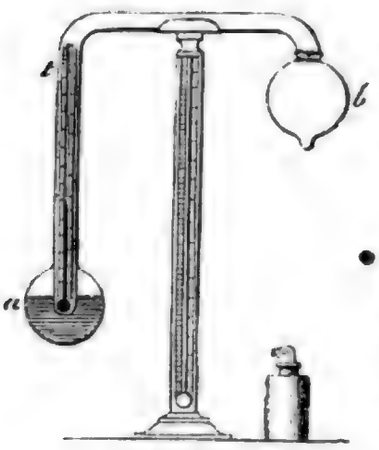
Er fand, daß Hygrometer, mit einerlei Art von Haaren conſtruirt, welche auf gleiche Weiſe entfettet wurden, zwar nicht ſtrenge übereinſtimmend gehen, daß ſie aber für die meiſten Beobachtungen als vergleichbar betrachtet werden können; daß dagegen Hygrometer mit Haaren von verſchiedener Natur und verſchiedener Zubereitung ſehr große Unterſchiede in ihren Angaben zeigen können, ſelbſt wenn ſie an den Endpunkten mit einander ſtimmen.

Daraus geht klar hervor, daß man nicht eine für alle Haarhygrometer gültige Tabelle berechnen könne, ſondern daß man eigentlich für jedes Inſtrument der Art Verſuche in obiger Weiſe anſtellen und aus dieſen eine Tabelle berechnen müſſe.

Daniel's Hygrometer iſt Fig. 415 dargeſtellt; es beſteht aus einer 207
gekrümmten Röhre, welche mit zwei Kugeln endigt; die eine, *a*, iſt entweder vergoldet oder mit einer ganz dünnen glänzenden Platinſchicht überzogen, die andere iſt mit einem Läppchen feiner Leinwand umwickelt. Die Kugel *a* iſt zur Hälfte mit Aether gefüllt und enthält ein kleines Ther-

mometer, dessen Theilung in die Röhre *t* hineinragt. Der Apparat ist vollkommen luftleer. Wenn man nun Aether auf die Kugel *b* tröpfelt, so wird sie durch die Verdampfung des Aethers erkaltet, im Innern derselben werden Aetherdämpfe condensirt und dadurch eine Verdampfung des Aethers in der Kugel *a* bewirkt, indem gewissermaßen der Aether aus der wärmeren Kugel *a* in die kältere *b* überdestillirt. Bei der Dampfbildung in der Kugel *a* wird aber ebenfalls Wärme gebunden und beschlägt sich endlich mit einem zarten Thau.

Fig. 415.



Die Entstehung dieses Thaues läßt sich leicht erklären. Wir haben schon oben gesehen, daß im leeren Raume die Spannkraft des Wasserdampfes für eine bestimmte Temperatur eine gewisse Gränze nicht übersteigen kann, daß das Maximum der Spannkraft mit der Temperatur steigt. Für eine Temperatur von 20° z. B. ist das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes 17,3 Millimeter (Theil II. Seite 332), und die entsprechende Dichtigkeit des Wasserdampfes 0,00001718; in einem luftleeren Raume von 1 Kubikmeter können also bei einer Temperatur von 20° höchstens 17,18 Gramm Wasser in Form von Dampf enthalten seyn.

Wir haben aber ferner gesehen, daß in einem lufterfüllten Raume gerade ebenso viel Wasserdampf enthalten seyn kann als in einem gleich großen luftleeren Raume, und daß sich in diesem Falle die Spannkraft der Luft und die Spannkraft des in ihr verbreiteten Wasserdampfes summiren. Bei einer Temperatur von 20° können also in einem Kubikmeter Luft ebenfalls 17,18 Gramm Wasser als Dampf enthalten seyn.

Man sagt, die Luft sey mit Wasserdampf *gesättigt*, wenn der in ihr verbreitete Wasserdampf das ihrer Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft und Dichtigkeit erreicht hat.

Bringt man in eine mit Feuchtigkeit gesättigte Luft einen kälteren Körper, so wird dieser die nächsten Luftschichten erkalten, ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes wird sich verdichten müssen und setzt sich in Form von feinen Tröpfchen an den kalten Körper an. Auf diese Weise bildet sich der Beschlag an den Fensterscheiben in einem bewohnten erwärmten Zimmer, wenn die Temperatur der äußeren Luft niedrig genug ist, um die Fensterscheiben hinlänglich zu erkalten.

Nicht immer ist die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, d. h. es ist nicht immer in derselben gerade so viel Wasserdampf enthalten, als sie bei ihrer Temperatur aufnehmen könnte. Nehmen wir z. B. an, jedes Kubikmeter

Luft enthielte bei einer Temperatur von 20° nur 13,63 Gramm Wasserdampf, so ist sie nicht gesättigt, denn bei dieser Temperatur könnte ja jedes Kubikmeter Luft 17,18 Gramm Wasserdampf enthalten. Aus der angeführten Tabelle auf Seite 332 ersieht man aber, daß die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes bei 16° gleich 0,00001363 ist, für eine Temperatur von 16° wäre also die Luft gesättigt, man müßte also die Luft bis unter 16° erkalten, wenn eine Verdichtung von Wasserdampf stattfinden sollte.

Die Temperatur, für welche eben die Verdichtung des Wasserdampfes beginnt, die Temperatur also, für welche die Luft gerade mit Wasserdampf gesättigt ist, heißt der Thaupunkt.

Der Thaupunkt ist es nun, welchen man am Daniel'schen Hygrometer beobachtet; sobald nämlich die Kugel *a* bis zur Temperatur des Thaupunktes erkaltet ist, fängt diese Kugel an sich zu beschlagen; die Temperatur des Thaupunktes liest man unmittelbar an dem in die Kugel *a* hineinragenden Thermometer ab.

Die folgende Tabelle giebt den Wassergehalt der mit Dampf gesättigten Luft für den Thaupunkt von — 20° bis + 40° an.

Temperatur des Thaupunktes.	Entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes.	Gewicht des Wasserdampfes in 1 Kubikmeter Luft.	Temperatur des Thaupunktes.	Entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes.	Gewicht des Wasserdampfes in 1 Kubikmeter Luft.
	mm.	gr.		mm.	gr.
— 20°	1,3	1,5	10°	9,5	9,7
— 15	1,9	2,1	11	10,1	10,3
— 10	2,6	2,9	12	10,7	10,9
— 5	3,7	4,0	13	11,4	11,6
0	5,0	5,4	14	12,1	12,2
1	5,4	5,7	15	12,8	13,0
2	5,7	6,1	16	13,6	13,7
3	6,1	6,5	17	14,5	14,5
4	6,5	6,9	18	15,4	15,3
5	6,9	7,3	19	16,3	16,2
6	7,4	7,7	20	17,3	17,1
7	7,9	8,2	21	18,3	18,1
8	8,4	8,7	22	19,4	19,1
9	8,9	9,2	23	20,6	20,2

Temperatur des Thaupunktes.	Entſprechende Spannkraft des Waſſerdampfes.	Gewicht des Waſſerdampfes in 1 Kubikmeter Luft.	Temperatur des Thaupunktes.	Entſprechende Spannkraft des Waſſerdampfes.	Gewicht des Waſſerdampfes in 1 Kubikmeter Luft.
	mm.	gr.		mm.	gr.
24	21,8	21,3	33	36,2	34,3
25	23,1	22,5	34	38,3	36,2
26	24,4	23,8	35	40,4	38,1
27	25,9	25,1	36	42,7	40,2
28	27,4	26,4	37	45,0	42,2
29	29,0	27,9	38	47,6	44,4
30	30,6	29,4	39	50,1	46,7
31	32,4	31,0	40	53,0	49,2
32	34,3	32,6	»	»	»

Wenn uns das Hygrometer für den Thaupunkt 12° angiebt, ſo erſehen wir aus dieſer Tabelle, daß jedes Kubikmeter Luft 10,7 Gramm Waſſerdampf enthält; wäre der Thaupunkt 17°, ſo enthielte jedes Kubikmeter Luft 14,5 Gramm Waſſerdampf u. ſ. w.

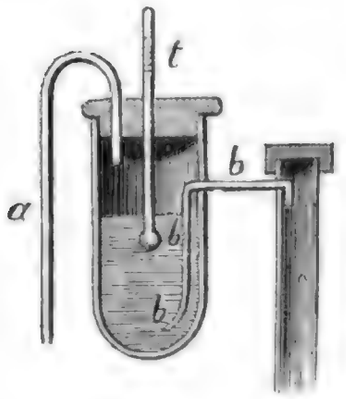
Gegen die Genauigkeit der Angaben des Daniel'ſchen Hygrometers laſſen ſich mit Recht folgende Einwendungen machen. Der Aether in der Kugel *a* iſt an der Oberfläche kälter als an den tieferen Stellen; die Handhabung des Apparates erfordert eine längere Anweſenheit des Beobachters in die Nähe deſſelben, wodurch ſowohl die Temperatur als auch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft modificirt wird; die Menge des Aethers, welcher auf der Kugel *b* verdampft, äußert ebenfalls einen Einfluß auf den hygrometriſchen Zuſtand der Luft, welcher noch dadurch verſchlimmert wird, daß der käufliche Aether immer nicht ganz waſſerfrei iſt.

Schon lange hat Döbereiner auf die Schwierigkeit aufmerkſam gemacht, mit dem Daniel'ſchen Hygrometer genaue Reſultate zu erhalten, er conſtruirte ein anderes auf demſelben Principe beruhendes Inſtrument, welches jedoch nicht ſo beachtet worden zu ſeyn ſcheint, wie es verdient. Seine Einrichtung iſt im Weſentlichen folgende:

Ein kleines Gefäß von dünnem Meſſingblech, welches außen vergoldet iſt, wird mit einem beweglichen Deckel geſchloſſen, durch welchen eine gekrümmte Röhre und ein kleines Thermometer *t* hindurchgehen; eine andere Röhre *b*, welche auf der Seite in das Gefäß eintritt, reicht bis auf den Boden deſſelben hinab. Durch das Rohr *c*, deſſen unteres Ende

mit einer kleinen Druckpumpe in Verbindung steht und auf einen Tisch aufgeschraubt werden kann, wird Luft eingepumpt, welche, an dem unteren Ende von *b* austretend, in Blasen durch den Aether aufsteigt und dadurch seine rasche Verdampfung bewirkt, in Folge deren das Gefäß außen beschlägt. Die mit Aetherdämpfen gesättigte Luft entweicht durch die Röhre *a*. Hier hat der Aether schon seiner ganzen Ausdehnung nach gleiche Temperatur, weil er durch die Luftblasen in Bewegung gehalten wird. Die Druckpumpe kann durch eine mit Luft gefüllte Blase ersetzt werden.

Fig. 416.



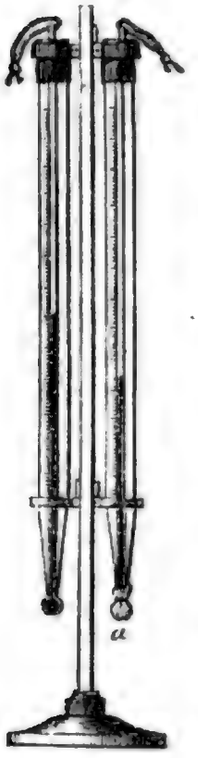
Vor Kurzem hat Regnault ein Instrument angegeben, welches als eine Verbesserung des eben besprochenen angesehen werden kann. Das Gefäß ist von polirtem Silberblech; das Rohr, welches die Stelle von *a* vertritt, führt zu einem entfernten kleinen Aspirator, welcher die Luft aus dem Gefäße aussaugt, während durch das andere Rohr, welches die Stelle von *b* vertritt, die Luft einströmt und in Blasen durch den Aether streicht. Der Beobachter steht am Aspirator und beobachtet das Silbergefäß und sein Thermometer mit dem Fernrohre. Je nachdem man den Ausfluß des Wassers aus dem Aspirator regulirt, strömt die Luft schneller oder weniger schnell durch den Aether, so daß man die Temperaturerniedrigung des Gefäßes ganz in seiner Gewalt hat und es beliebig lange auf constanter Temperatur erhalten kann. Wenn das Gefäß die Temperatur des Thaupunktes hat, so reicht die geringste Verzögerung des Wasserausflusses am Aspirator hin, um den Beschlag des Gefäßes verschwinden zu machen, die geringste Beschleunigung des Ausflusses aber vermehrt den Beschlag.

Ein geübter Beobachter könnte selbst durch Saugen mit dem Munde den Aspirator entbehrlich machen.

August's Psychrometer ist Fig. 417 (a. f. S.) dargestellt; es besteht 208
aus zwei an einem und demselben Gestelle befestigten Thermometern; die Kugel des einen ist mit einem feinen Leinwandläppchen umgeben, während die Kugel des anderen frei bleibt; wenn man die Hülle der einen Thermometerkugel mit Wasser befeuchtet, so wird das Wasser verdunsten, und zwar wird die Verdunstung um so rascher vor sich gehen, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Die Verdunstung des Wassers ist aber von einer Wärmebindung begleitet, in Folge deren das umwickelte Thermometer sinkt. Wenn die Luft vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigt ist, so wird kein Wasser verdampfen können, die beiden

Thermometer ſtehen alsdann gleich hoch; iſt aber die Luft nicht mit Waſſerdampf geſättigt, ſo wird das umwickelte Thermometer ſinken, und zwar um ſo tiefer, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt iſt. Aus der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer kann man auf den Feuchtigkeitszuſtand der Luft ſchließen.

Fig. 417.



Wenn ein hinreichend ſtarker Luftzug ſtattfindet, ſo wird ſich die an der naſſen Thermometerkugel vorbeiſtreichende Luft mit Waſſerdampf ſättigen, ſie wird aber einen Theil ihrer Wärme zur Dampfbildung abgeben; das naſſe Thermometer zeigt die Temperatur an, bis zu welcher die Luft an dieſer Kugel erkaltet und für welche ſie ſich mit Waſſerdampf ſättigt. Nehmen wir an, das naſſe Thermometer zeige 16^0, ſo ſehen wir daraus, daß die Luft, welche an der umwickelten Kugel vorbeiſtreicht, auf 16^0 erkaltet wird, und daß ſie dieſelbe für dieſe Temperatur geſättigt verläßt. Wäre die ganze Luftmaſſe für die Temperatur von 16^0 mit Waſſerdampf geſättigt, ſo würde jedes Kubikmeter Luft 13,7 Gramm Waſſerdampf enthalten; ſo viel Waſſerdampf enthält ſie aber in der That nicht, denn ſie nimmt ja an der naſſen Kugel, bis zu 16^0 erkaltend, noch Waſſerdampf auf; der Feuchtigkeitszuſtand der Atmoſphäre iſt alſo von der Art, daß jedes Kubikmeter Luft weniger als 13,7 Gramm Waſſerdampf enthält.

Die Menge des Waſſerdampfes, welche die Luft aufnimmt, indem ſie an der naſſen Kugel vorbeiſtreicht, hängt von der Wärmequantität ab, welche ſie zur Dampfbildung abgiebt; dieſe Wärmequantität iſt aber um ſo bedeutender, je ſtärker ſie erkaltet wird, ſie iſt der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer proportional, und auch die Menge des Waſſerdampfes, welchen die Luft aufnimmt, wenn ſie am naſſen Thermometer vorbeiſtreicht, können wir ohne merklichen Fehler dieſer Temperaturdifferenz proportional ſetzen. Bezeichnen wir dieſe Temperaturdifferenz mit d, ſo können wir die Quantität des Waſſerdampfes, welchen ein Kubikmeter Luft aufnimmt, welches nach und nach an der naſſen Kugel vorbeiſtreicht, mit $c\,d$ bezeichnen.

Bezeichnen wir ferner mit M das Maximum des Waſſerdampfes, welchen ein Kubikmeter Luft bei der Temperatur des naſſen Thermometers enthalten kann, die Quantität des Waſſerdampfes alſo, welchen die Luft wirklich enthält, welche am naſſen Thermometer vorbeigeſtrichen iſt, ſo beſteht dieſe Quantität M aus zwei Theilen, der Quantität $c\,d$ nämlich,

welche ſie an der Kugel aufgenommen hat, und der Quantität X, welche ſie ſchon enthielt, es iſt alſo

$$M = X + c\,d$$

oder

$$X = M - c\,d.$$

In dieſer Formel bezeichnet, wie erwähnt, X den Waſſergehalt der Luft, d die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer, M den Waſſergehalt der Luft, wenn ſie für die Temperatur des naſſen Thermometers geſättigt wäre, und c einen conſtanten Factor, welcher durch Verſuche ermittelt werden muß.

Durch vergleichende Verſuche mit dem Pſychrometer und dem Daniel'ſchen Hygrometer ergiebt ſich

$$c = 0{,}65.$$

Um nicht für jede Beobachtung erſt den Waſſergehalt der Luft berechnen zu müſſen, hat man Tabellen berechnet, in welchen man, wie in der folgenden, für jede Lufttemperatur und jede beobachtete Differenz der beiden Thermometer den Waſſergehalt der Luft gleich aufſuchen kann.

Digitized by Google

Temperatur der Luft.	Differenz des trockenen und befeuchteten Thermometers.												
Grade nach Celſius.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
— 20	1,5	0,8	0,1										
— 19	1,6	0,9	0,2										
— 18	1,8	1,0	0,3										
— 17	1,9	1,1	0,4										
— 16	2,0	1,2	0,5										
— 15	2,1	1,4	0,6										
— 14	2,3	1,5	0,8										
— 13	2,4	1,6	0,9	0,1									
— 12	2,6	1,8	1,0	0,3									
— 11	2,7	2,0	1,2	0,4									
— 10	2,9	2,1	1,3	0,6									
— 9	3,1	2,3	1,5	0,7									
— 8	3,3	2,5	1,7	0,9	0,1								
— 7	3,5	2,7	1,9	1,1	0,3								
— 6	3,7	2,9	2,1	1,3	0,5								
— 5	4,0	3,1	2,3	1,5	0,7								
— 4	4,2	3,4	2,5	1,7	0,9	0,1							
— 3	4,5	3,6	2,8	1,9	1,1	0,3							
— 2	4,8	3,9	3,0	2,2	1,4	0,5							
— 1	5,1	4,2	3,3	2,4	1,6	0,8							
0	5,4	4,5	3,6	2,7	1,9	1,0	0,2						
+ 1	5,7	4,7	3,8	2,9	2,1	1,2	0,4						
+ 2	6,1	5,1	4,1	3,2	2,3	1,4	0,5						
+ 3	6,5	5,4	4,4	3,4	2,5	1,6	0,7						
+ 4	6,9	5,8	4,8	3,7	2,7	1,8	1,0						
+ 5	7,3	6,2	5,1	4,1	3,1	2,1	1,2	0,3					
+ 6	7,7	6,6	5,5	4,5	3,4	2,4	1,4	0,5					
+ 7	8,2	7,0	5,9	4,9	3,8	2,8	1,8	0,8					
+ 8	8,7	7,5	6,4	5,3	4,2	3,2	2,1	1,1	0,2				
+ 9	9,2	8,0	6,9	5,7	4,6	3,6	2,5	1,5	0,5				
+ 10	9,7	8,5	7,3	6,2	5,1	4,0	2,9	1,9	0,9				
+ 11	10,3	9,1	7,9	6,7	5,6	4,4	3,3	2,3	1,2	0,2			
+ 12	10,9	9,7	8,4	7,2	6,0	4,9	3,8	2,7	1,7	0,6			
+ 13	11,6	10,3	9,0	7,8	6,6	5,4	4,3	3,1	2,1	1,0			
+ 14	12,2	10,9	9,6	8,3	7,1	5,9	4,8	3,6	2,5	1,4	0,4		
+ 15	13,0	11,6	10,3	9,0	7,7	6,5	5,3	4,1	3,0	1,9	0,8		
+ 16	13,7	12,3	10,9	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,5	2,4	1,3	0,2	
+ 17	14,5	13,1	11,6	10,3	9,0	7,7	6,4	5,2	4,0	2,9	1,7	0,7	
+ 18	15,3	13,8	12,4	11,0	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,4	2,2	1,1	
+ 19	16,2	14,7	13,2	11,7	10,3	9,0	7,7	6,4	5,1	3,9	2,8	1,6	
+ 20	17,1	15,5	14,0	12,5	11,1	9,7	8,3	7,0	5,8	4,5	3,3	2,2	
+ 21	18,1	16,5	14,9	13,4	11,9	10,5	9,1	7,7	6,4	5,1	3,9	2,7	
+ 22	19,1	17,4	15,8	14,2	12,7	11,2	9,8	8,4	7,1	5,8	4,5	3,3	
+ 23	20,2	18,5	16,8	15,2	13,6	12,1	10,6	9,2	7,8	6,4	5,2	3,9	2,5
+ 24	21,3	19,5	17,8	16,1	14,5	12,9	11,4	10,0	8,5	7,2	5,8	4,5	3,1
+ 25	22,5	20,6	18,9	17,1	15,5	13,8	12,3	10,8	9,3	7,9	6,5	5,2	3,9
+ 26	23,8	21,8	20,0	18,2	16,5	14,8	13,2	11,6	10,1	8,7	7,3	5,9	4,6
+ 27	25,1	23,1	21,2	19,3	17,5	15,8	14,2	12,6	11,0	9,5	8,1	6,7	5,3
+ 28	26,4	24,4	22,4	20,5	18,7	16,9	15,2	13,5	11,9	10,4	8,9	7,5	6,1
+ 29	27,9	25,8	23,7	21,7	19,8	18,0	16,3	14,6	12,9	11,3	9,8	8,3	6,8
+ 30	29,4	27,2	25,1	23,0	21,1	19,2	17,4	15,6	13,9	12,3	10,7	9,1	7,7
+ 31	31,0	28,7	26,5	24,4	22,4	20,4	18,5	16,7	15,0	13,3	11,6	10,1	8,5
+ 32	32,6	30,3	28,0	25,8	23,8	21,7	19,8	17,9	16,1	14,3	12,7	11,0	9,4
+ 33	34,4	31,9	29,6	27,3	25,2	23,1	21,1	19,1	17,3	15,4	13,7	12,0	10,4
+ 34	36,2	33,7	31,2	28,9	26,7	24,5	22,4	20,4	18,5	16,6	14,8	13,1	11,4
+ 35	38,1	35,5	33,0	30,6	28,2	26,0	23,8	21,8	19,8	17,8	16,0	14,2	12,5

Man findet in dieser Tabelle den Wassergehalt eines Kubikmeters Luft, in Grammen ausgedrückt, für die jedesmalige Lufttemperatur und die gleichzeitig beobachtete Differenz der beiden Thermometer, wenn man in der Horizontalreihe, deren äußerste Ziffer links die Lufttemperatur angiebt, bis zu der Vertikalreihe herübergeht, welche mit der beobachteten Differenz der beiden Thermometer überschrieben ist. So findet man z. B. für eine Lufttemperatur von 20°, wenn das nasse Thermometer auf 16° steht, wenn also die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer 4° ist, den Wassergehalt der Luft gleich 11,1, d. h. in diesem Falle enthält jedes Kubikcentimeter Luft 11,1 Gramm Wasserdampf.

Regnault hat durch zahlreiche Versuche nachgewiesen, daß die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer wesentlich von der Stärke des Luftzuges abhängt, daß das feuchte Thermometer in einem geschlossenen Raume nicht so tief sinkt, als wenn es dem Luftzuge ausgesetzt ist. Ebenso fand er, daß bei niedriger Temperatur und sehr feuchter Luft die aus den Angaben des Psychrometers berechneten Werthe des Wassergehaltes bedeutend von dem mittelst des Aspirators gefundenen abweichen; die in der Tabelle auf der vorigen Seite angegebenen Werthe des Wassergehaltes der Luft sind also wohl nur bei mittleren und höheren Temperaturen und nicht gar zu feuchter Luft als ziemlich genau zu nehmen.

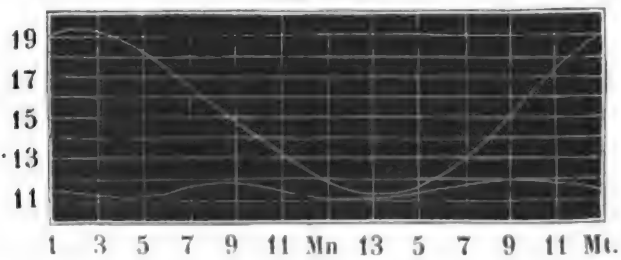
Tägliche Variationen im Wassergehalte der Luft. Da bei hoher Temperatur mehr Wasserdampf in der Luft verbreitet seyn kann, da mit steigender Wärme das Wasser an der Oberfläche der Gewässer und vom feuchten Boden mehr und mehr verdunstet, so läßt sich wohl erwarten, daß der Wassergehalt der Luft im Laufe eines Tages ab- und zunehmen wird. Die Gesetze der täglichen Variationen des Wassergehaltes der Atmosphäre sind besonders durch lange Versuchsreihen von Neuber in Apenrade, von Kupffer in Petersburg und von Kämtz in Halle und auf den Alpen ermittelt worden. 209

Die folgende Tabelle giebt die mittlere Spannkraft für die einzelnen Stunden in den Monaten Januar, April, Juli und October an.

Stunden.	Januar.	April.	Juli.	October.
Mittag	4,29	6,15	11,62	8,27
1	4,32	6,05	11,42	8,29
2	4,34	6,08	11,32	8,23
3	4,33	6,09	11,22	8,15
4	4,28	6,09	11,18	8,10
5	4,25	6,09	11,25	8,06
6	4,24	6,12	11,36	8,10
7	4,22	6,15	11,68	8,07
8	4,20	6,13	11,76	7,96
9	4,18	6,10	11,75	7,88
10	4,15	6,05	11,67	7,80
11	4,14	6,03	11,52	7,72
Mitternacht	4,11	6,02	11,33	7,66
1	4,09	5,99	11,15	7,59
2	4,09	5,93	11,05	7,52
3	4,08	5,88	11,07	7,43
4	4,08	5,84	11,21	7,36
5	4,07	5,87	11,44	7,34
6	4,06	5,96	11,68	7,44
7	4,06	6,08	11,96	7,49
8	4,05	6,25	12,11	7,75
9	4,07	6,34	12,05	8,06
10	4,12	6,35	11,89	8,23
11	4,21	6,28	11,72	8,28
Mittel	4,17	6,08	11,52	7,87

Nach dieſer Tabelle ſind die Variationen des Waſſergehaltes der Luft während eines Tages für den Monat Juli in Fig. 418 graphiſch, und

Fig 418.



zwar in der unteren Kurve, dargeſtellt. Die Abſciſſen ſind der Zeit, die Ordinaten der Spannkraft des Waſſerdampfes proportional aufgetragen. Man ſieht, daß der Waſſergehalt der Luft zwei Maxima, gegen 9 Uhr Abends und gegen 9 Uhr Morgens, und zwei Minima, um 4 Uhr Nachmittags und kurz vor Sonnenaufgang, hat.

Wenn mit Sonnenaufgang die Temperatur ſteigt, vermehrt ſich auch die Menge des Waſſerdampfes in der Luft, jedoch dauert dies nur bis 9 Uhr, wo ein durch die ſtarke Erwärmung des Bodens veranlaßter auf-

wärtssteigender Luftstrom die Dämpfe mit in die Höhe nimmt, so daß der Wassergehalt der unteren Luftschichten geringer wird, obgleich bei immer zunehmender Wärme die Bildung der Dämpfe fortdauert; diese Abnahme dauert bis gegen 4 Uhr; nun nimmt der Wassergehalt der unteren Luftschichten wieder zu, weil nun die nach oben gerichtete Luftströmung aufhört, den sich bildenden Wasserdampf wegzuführen; jedoch dauert diese Zunahme nur bis gegen 9 Uhr Abends, weil nun die immer mehr sinkende Temperatur der Luft der ferneren Dampfbildung eine Grenze setzt.

Im Winter, wo die Wirkung der Sonne weniger intensiv ist, verhält sich die Sache anders; im Januar beobachtet man nur ein Maximum des Wassergehaltes der Luft um 2 Uhr Nachmittags und ein Minimum zur Zeit des Sonnenaufgangs.

Die obere Kurve der vorigen Figur zeigt uns das Maximum der Spannkraft, welches der Wasserdampf bei der jeder Stunde des Monats Juli entsprechenden mittleren Temperatur erreichen könnte. Da die beiden Kurven für die Zeit des Sonnenaufgangs sich einander sehr nähern, so ist also um diese Zeit die Luft sehr nahe mit Feuchtigkeit gesättigt. Mit steigender Temperatur nimmt nun zwar anfangs die absolute Menge des Wasserdampfes in der Luft zu, doch nicht im Verhältniß der Temperaturzunahme, der Wassergehalt der Luft entfernt sich immer mehr von dem ihrer Temperatur entsprechenden Sättigungspunkte oder auch, mit anderen Worten, die Differenz zwischen der Temperatur der Luft und dem Thaupunkte wird immer größer.

Wir sagen, »die Luft ist trocken«, wenn das Wasser rasch verdunstet und wenn befeuchtete Gegenstände durch dieses rasche Verdunsten schnell trocken werden; dagegen sagen wir »die Luft ist feucht«, wenn befeuchtete Gegenstände an der Luft nur langsam oder gar nicht trocknen, wenn die geringste Temperaturerniedrigung feuchte Niederschläge bewirkt, und wenn etwas kältere Gegenstände sich mit Feuchtigkeit überziehen. Wir nennen also die Luft trocken, wenn sie weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, feucht dagegen, wenn der Thaupunkt der Temperatur der Luft sehr nahe liegt; mit diesem Urtheile über die Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft verbinden wir also durchaus kein Urtheil über den absoluten Wassergehalt der Luft. Wenn an einem heißen Sommertage bei einer Temperatur von 25° C. jedes Kubikmeter Luft 13 Gramm Wasserdampf enthält, so sagen wir, die Luft sey sehr trocken; denn bei dieser Temperatur könnte jedes Kubikmeter Luft 22,5 Gramm Wasserdampf enthalten (siehe die Tabelle Seite 332), oder die Luft müßte bis auf 15° erkaltet werden, um bei unverändertem Wassergehalte gesättigt zu seyn. Wenn sie dagegen im Winter bei einer Temperatur von + 2° nur 6 Gramm Wasserdampf enthält, so ist die Luft sehr feucht, weil die Luft für die herrschende

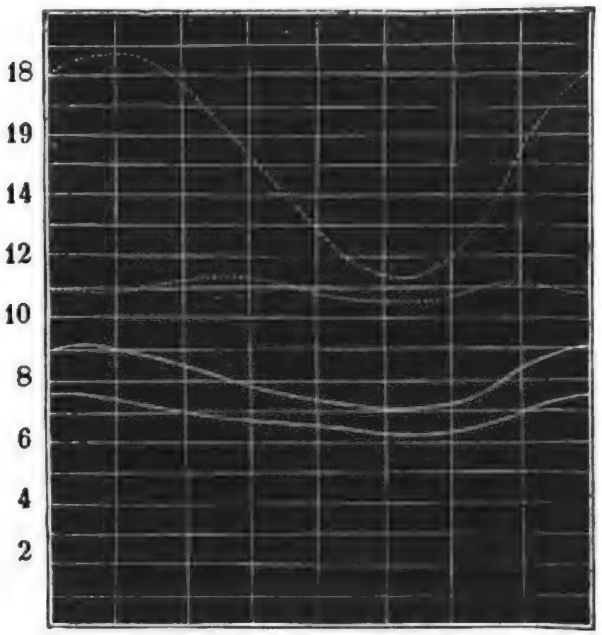
Temperatur beinahe vollſtändig mit Waſſerdampf geſättigt iſt und die geringſte Temperaturerniedrigung ſchon einen Niederſchlag zur Folge hat.

In dieſem Sinne können wir alſo ſagen, daß zur Zeit des Sonnenaufgangs die Luft am feuchteſten iſt, obgleich der abſolute Waſſergehalt geringer iſt als zu jeder anderen Tageszeit. Gegen drei Uhr Nachmittags iſt im Sommer die Luft am trockenſten.

Die Zeit der beiden Maxima und der beiden Minima des Waſſergehaltes der Luft fällt nahe mit den Wendeſtunden der täglichen Periode des Barometers zuſammen, ſo daß man offenbar ſieht, wie dieſe Perioden durch die Variationen des Waſſergehaltes der Luft bedingt ſind.

Auf hohen Bergen befolgen die Veränderungen im Dampfgehalte der Luft ein anderes Geſetz, weil der aufſteigende Luftſtrom die Waſſerdämpfe aus der Tiefe in die Höhe führt. Die unterſte der beiden ausgezogenen Kurven Fig. 419 ſtellt nach den Beobachtungen von Kämtz die Veränderungen dar, welche die Spannkraft des atmoſphäriſchen Waſſerdampfes im Laufe eines Tages auf dem Rigi erleidet, während die untere der beiden punktirten Kurven die entſprechenden gleichzeitigen Veränderungen für Zürich darſtellt. Zuerſt ſieht man bei der Betrachtung dieſer Kurven, daß in Zürich der Waſſergehalt der Luft während 24 Stunden 2 Maxima und 2 Minima hat, während in der Höhe, wie bei den täglichen Variationen des Barometerſtandes, nur 1 Maximum und nur 1 Minimum ſtattfindet; auch in der Höhe nimmt der Waſſergehalt der Luft von Sonnenaufgang an zu, dieſe Zunahme dauert aber bis Mittag, während in der Tiefe der Waſſergehalt von 9 Uhr an ſchon wieder abnimmt, weil der aufſteigende Luftſtrom, welcher die Abnahme des Waſſergehaltes in der Tiefe veranlaßt, die dort weggeführten Dämpfe in die Höhe bringt. Von 3 Uhr Nachmittags an,

Fig. 419.



wenn die Stärke des aufsteigenden Luftstromes nachläßt, nimmt der Wassergehalt in der Tiefe wieder zu, in der Höhe nimmt er aber fortwährend ab, weil bei stets abnehmender Temperatur kein Wasserdampf mehr in die Höhe gebracht wird, sondern umgekehrt die Wasserdämpfe sich in die Tiefe senken. Die obere der beiden punktirten und die obere der beiden ausgezogenen Kurven geben an, wie groß zu jeder Stunde die Spannkraft des atmosphärischen Wasserdampfes in Millimetern ausgedrückt seyn würde, wenn die Luft stets vollkommen gesättigt wäre. In der Höhe ist dieser Beobachtungsreihe zufolge die Luft viel feuchter, d. h. sie ist ihrem Sättigungspunkte viel näher als in der Tiefe, denn die beiden Kurven sind für den Rigi fast parallel und nicht weit von einander entfernt, während die beiden auf Zürich sich beziehenden Kurven einen sehr ungleichen Lauf haben und für die Stunden vor und nach Mittag sehr weit von einander abstehen.

Man kann deshalb aber nicht allgemein den Satz aufstellen, daß die Luft in der Höhe feuchter sey, denn andere Beobachtungen ergeben das Gegentheil; so fanden z. B. Sauſſure auf den Alpen und Humboldt auf den südamerikanischen Gebirgen die Luft trockner als in der Tiefe. Bei heiterem Wetter scheint die Luft in der Höhe trockner zu seyn, bei trübem aber feuchter als unten, denn man sieht oft den Gipfel der Berge in Wolken gehüllt, während die unteren Luftschichten nicht mit Wasserdampf gesättigt sind.

Jährliche Variationen des Wassergehaltes der Luft. Die fol- 210
gende Tabelle giebt den mittleren Wassergehalt der Luft für die einzelnen Monate des Jahres zu Halle.

Monate.	Spannkraft des Wasserdampfes.	Relative Feuchtigkeit.
Januar . .	4,509mm	85,0
Februar. .	4,749	79,9
März . .	5,107	76,4
April . .	6,247	71,4
Mai . . .	7,836	69,1
Juni . . .	10,843	69,7
Juli . . .	11,626	66,5
August . .	10,701	66,1
September .	9,560	72,8
October . .	7,868	78,9
November .	5,644	85,3
December .	5,599	86,2

Der abſolute Waſſergehalt der Luft iſt wie die mittlere Lufttemperatur im Januar ein Minimum, er nimmt bis zum Juli zu, wo er ſein Maximum erreicht, dann aber nimmt er wieder ab bis zum Ende des Jahres.

Die letzte Columne dieſer Tabelle unter der Ueberſchrift »Relative Feuchtigkeit« giebt an, wieviel der in der Luft enthaltene Waſſerdampf beträgt, wenn man die Quantität des Waſſerdampfes, welche ſich in der Luft befinden würde, wenn ſie geſättigt wäre, mit 100 bezeichnet. Im December iſt alſo im Durchſchnitt die Luft am feuchteſten, d. h. ſie iſt ihrem Sättigungspunkte am nächſten; im Auguſt aber iſt die Luft am trockenſten, obgleich ihr abſoluter Waſſergehalt in dieſem Monate ſehr groß iſt, weil ſie ſehr weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt iſt. Im Auguſt iſt der Waſſergehalt der Luft im Durchſchnitt nur 61 Procent von der Quantität Waſſerdampf, welche in der Luft enthalten ſeyn müßte, wenn ſie bei der mittleren Temperatur dieſes Monats geſättigt ſeyn ſollte. In dieſem Sinne ſind alſo November, December, Januar und Februar die feuchteſten, Mai, Juni, Juli und Auguſt die trockenſten Monate des Jahres.

211 **Feuchtigkeit der Luft in verſchiedenen Gegenden.** Die Bildung des Waſſerdampfes iſt vorzugsweiſe von zwei Bedingungen abhängig, nämlich von der Temperatur und von der Gegenwart von Waſſer. Bei einem unbegränzten Waſſervorrathe werden ſich um ſo mehr Waſſerdämpfe bilden, je höher die Temperatur iſt; bei gleicher Temperatur aber werden ſich in waſſerreichen Gegenden mehr Dämpfe bilden können als in waſſerarmen. Daraus folgt nun, daß der abſolute Waſſergehalt der Luft unter ſonſt gleichen Umſtänden von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muß und daß ſie im Innern der großen Continente trockener, d. h. weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt iſt als auf dem Meere und an den Meeresküſten. Wie ſehr die Trockenheit der Luft mit der Entfernung vom Meere zunimmt, beweiſt ſchon die Heiterkeit des Himmels der Binnenländer. Die Hygrometerbeobachtungen, welche Humboldt und G. Roſe in verſchiedenen Gegenden von Sibirien gemacht haben, beweiſen ebenfalls die außerordentliche Trockenheit der Atmoſphäre in jenen Gegenden. In der Steppe von Platowskaya fanden ſie, daß bei einer Temperatur von 23,7° die Differenz der beiden Thermometer des Pſychrometers 11,7° betrug, während ſie bei dem gewöhnlichen Zuſtande der Atmoſphäre nur 5 bis 6° beträgt. Nehmen wir an, die Differenz der Thermometer hätte bei einer Temperatur von 24° nur 11° betragen, ſo würde nach der Tabelle auf Seite 566 jedes Kubikmeter Luft 4,5 Gramm Waſſerdampf enthalten, eine Quantität, mit welcher die Luft erſt bei — 3° geſättigt iſt; da aber die Temperaturdifferenz noch bedeutend größer war, als wir eben näherungsweiſe angenommen hatten, ſo war der Waſſergehalt der Luft noch geringer, der Thaupunkt alſo noch unter — 3°, die Luft hätte alſo um

mehr als 27° erkaltet werden können, ohne daß ein Niederschlag von Feuchtigkeit erfolgt wäre.

Der Thau. Es ist oben, auf Seite 561, erklärt worden, wie der 212
feine Thau auf der glänzenden Kugel des Daniel'schen Hygrometers entsteht, wenn diese Kugel erkaltet wird. Ebenso erklärt sich die Thaubildung im Großen.

Wenn im Sommer nach Sonnenuntergang der Himmel heiter und die Luft ruhig bleibt, so werden die verschiedenen Gegenstände auf der Erdoberfläche durch die nächtliche Strahlung gegen den Himmelsraum mehr und mehr erkalten, ihre Temperatur sinkt um 2, 3, ja manchmal um 7 bis 8° unter die Temperatur der Luft herab, die kalten Körper erniedrigen auch die Temperatur der sie zunächst umgebenden Luftschichten; und wenn diese bis zum Thaupunkte erkaltet sind, so wird sich ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes in Form von feinen Tröpfchen an die kalten Körper ansetzen.

Da nicht alle Körper gleiches Wärmestrahlungsvermögen haben, so erkalten auch einige stärker als andere, und so kommt es, daß manche Körper stark mit Thau überzogen sind, während andere fast ganz trocken bleiben. Gras und Blätter erkalten besonders stark durch die nächtliche Strahlung, theils weil sie ein sehr starkes Strahlungsvermögen besitzen, theils aber auch weil sie frei in die Luft hineinragen, so daß vom Boden aus nur wenig Wärme zugeleitet werden kann; man findet sie deshalb stärker bethaut als Steine und den nackten Boden.

Eine Wolkendecke, welche den Himmel überzieht, hindert die Thaubildung, weil sie die nächtliche Strahlung hindert. Auch wenn ein nur etwas lebhafter Wind weht, thaut es nicht, weil er beständig von Neuem warme Luft mit den festen Körpern in Berührung bringt, wodurch diesen fortwährend Wärme zugeführt wird und die Luft an ihnen vorbeistreicht, ehe sie bis zum Thaupunkte erkaltet werden kann.

Der Reif ist nichts Anderes als ein gefrorner Thau. Wenn der Körper, an welchem sich der condensirte Wasserdampf absetzt, unter 0° erkaltet ist, so kann er sich nicht mehr in flüssiger Gestalt, sondern in Form von Eisnadeln absetzen.

Nebel und Wolken. Wenn die Wasserdämpfe, aus einem Topf mit 213
kochendem Wasser aufsteigend, sich in der kälteren Luft verbreiten, so werden sie alsbald verdichtet, es entsteht der Schwaden, welcher aus einer Menge kleiner hohler Wasserbläschen besteht, die in der Luft schweben. Man nennt diese Schwaden auch öfters Dampf, doch ist es kein eigentlicher Dampf mehr, wenigstens kein Dampf in physikalischem Sinne des Wortes, denn es ist ja ein verdichteter Dampf.

Wenn die Verdichtung der Wasserdämpfe nicht durch Berührung mit

kalten feſten Körpern, ſondern mitten in der Luft vor ſich geht, ſo entſtehen Nebel, welche im Großen daſſelbe ſind wie der Schwaden, den wir über kochendem Waſſer ſehen.

Die Nebel entſtehen gewöhnlich, wenn das Waſſer der Seen und Flüſſe oder der feuchte Boden wärmer ſind als die ſchon mit Feuchtigkeit geſättigte Luft. Die Dämpfe, welche in Folge der höheren Temperatur des Waſſers oder des feuchten Bodens gebildet werden, verdichten ſich alsbald wieder, wenn ſie ſich in der kälteren ſchon mit Waſſerdämpfen geſättigten Luft verbreiten. Bei gleicher Temperaturdifferenz des Waſſers und der Luft bilden ſich keine Nebel, wenn die Luft trocken iſt, ſo daß ſich alle die Waſſerdämpfe, welche vom Boden aufſteigen, in ihr verbreiten können, ohne ſie zu ſättigen.

Nach dem, was ſo eben über die Bildung des Nebels geſagt wurde, erklärt ſich leicht, daß ſich die Nebel vorzugsweiſe im Herbſte über Flüſſen und Seen und über feuchten Wieſen bilden. In England ſind die Nebel beſonders häufig, weil es von einem warmen Meere umſpült iſt; ebenſo ſind die warmen Gewäſſer des Golfſtromes, welcher bis nach Neufoundland hinaufſtrömt, die Urſache der dort ſo häufigen dichten Nebel.

Manchmal beobachtet man Nebel unter ſcheinbar ganz verſchiedenen Umſtänden; ſo ſieht man dichte Nebel über den Flüſſen, während die Luft wärmer iſt als das Waſſer oder das Eis. In dieſem Falle iſt die warme Luft mit Feuchtigkeit geſättigt, und wenn ſie ſich mit den Luftſchichten miſcht, welche durch die Berührung mit dem kalten Waſſer oder dem Eiſe ſchon eine niedrigere Temperatur erlangt haben, ſo muß nothwendig eine Condenſation des Waſſerdampfes erfolgen.

Auf dieſelbe Weiſe entſtehen auch im Sommer nach Gewitterregen die Nebel über Flüſſen und Seen. Die Luft iſt wärmer als die Oberfläche des Waſſers, aber ſie iſt mit Feuchtigkeit geſättigt, und ſobald ſie ſich an Orte verbreitet, an welchen die Friſche des Waſſers fühlbar iſt, wird durch die Erkaltung der Waſſerdampf verdichtet.

Der Nebel bildet ſich jedoch nicht allein über Flüſſen und Seen, ſondern auch mitten im Lande, ſobald durch Luftſtrömungen wärmere feuchte Luftmaſſen mit kälteren gemiſcht und ihre Temperatur unter den Thaupunkt erniedrigt wird.

Die Wolken ſind nichts Anderes als Nebel, welche in den höheren Luftregionen ſchweben, ſo wie denn Nebel nichts ſind als Wolken, welche auf dem Boden aufliegen. Oft ſieht man die Gipfel der Berge in Wolken eingehüllt, während die Wanderer auf dieſen Bergſpitzen ſich mitten im Nebel befinden.

Auf den erſten Anblick ſcheint es unbegreiflich, wie die Wolken in der Luft ſchweben können, da ſie doch aus Bläschen beſtehen, welche offenbar

schwerer sind als die umgebende Luft. Da das Gewicht dieser kleinen Wasserbläschen im Vergleich zu ihrer Oberfläche sehr gering ist, so muß die Luft ihrem Falle einen bedeutenden Widerstand entgegensetzen; sie können sich jedenfalls nur sehr langsam herabsenken, wie ja auch eine Seifenblase, welche überhaupt mit unseren Dunstbläschen eine große Aehnlichkeit hat, in ruhiger Luft nur langsam fällt. Demnach müssen aber doch die Dunstbläschen, wenn auch noch so langsam, sinken, und man sollte demnach meinen, daß bei ruhigem Wetter sich die Wolken doch endlich bis auf den Boden herabsenken müßten.

Die bei ruhigem Wetter allerdings herabsinkenden Dunstbläschen können aber den Boden nicht erreichen, weil sie bald in wärmere nicht mit Dämpfen gesättigte Luftschichten gelangen, in welchen sie sich wieder in Dampf auflösen und dem Blicke verschwinden; während sich aber unten die Dunstbläschen auflösen, werden an der oberen Gränze neue gebildet, und so scheint die Wolke unbeweglich in der Luft zu schweben.

Wir haben eben die Dunstbläschen in ganz ruhiger Luft betrachtet, in bewegter Luft werden sie der Richtung der Luftströmung folgen müssen; ein Wind, welcher sich in horizontaler Richtung fortbewegt, wird die Wolken auch in horizontaler Richtung fortführen, und ein aufsteigender Luftstrom wird sie mit in die Höhe nehmen, sobald seine Geschwindigkeit größer ist als die Geschwindigkeit, mit welcher die Dampfbläschen in ruhiger Luft herabfallen würden. Sehen wir ja doch auch, wie die Seifenblasen durch den Wind fortgeführt und über Häuser hinweggetragen werden. So erklärt sich denn auch durch die aufsteigenden Luftströme das Steigen des Nebels.

Das Ansehen der Wolken ist, je nachdem sie höher oder tiefer schweben, je nachdem sie mehr oder weniger dicht, auf diese oder jene Weise beleuchtet sind u. s. w., gar mannigfaltig. Howard hat unter den verschiedenen Wolken folgende Hauptarten unterschieden.

1) Die Federwolke, cirrus, besteht aus sehr zarten, bald mehr streifigen, bald mehr locken- oder federartigen Fasern, welche nach schönem Wetter zuerst am Himmel erscheinen. In unserer Fig. 420 sieht man sie in dem Eck oben rechts bis herunter, wo die zwei Vögel schweben. Bei trockenem Wetter sind die Federwolken mehr streifig, bei feuchtem mehr verwaschen.

2) Die Haufenwolke, cumulus, welche in unserer Figur gerade unter die Federwolke gezeichnet ist, bildet große halbkugelförmige Massen, welche auf horizontaler Basis zu ruhen scheinen; diese Wolken erscheinen vorzugsweise im Sommer, manchmal thürmen sich Haufenwolken zu malerischen Gruppen zusammen und bieten dann, von der Sonne beschienen, den Anblick ferner Schneegebirge.

3) Die Schichtwolken, stratus, sind horizontale Wolkenstreifen (in

unſerer Figur unter dem cumulus), welche vorzugsweiſe bei Sonnenuntergang mit außerordentlicher Farbenpracht erſcheinen.

Fig. 420.

Dieſe Grundformen gehen auf mannigfaltige Weiſe in einander über; Howard hat dieſe Uebergangsformen durch die Namen cirro-cumulus, cirro-stratus, cumulo-stratus und nimbus bezeichnet.

Die fedrige Haufenwolke, cirro-cumulus, iſt der Uebergang der Federwolke zur Haufenwolke, es ſind die kleinen, weißen, runden Wölkchen, welche unter dem Namen Schäfchen allgemein bekannt ſind.

Wenn die Federwolken nicht einzeln zerſtreut, ſondern zu Streifen von bedeutender Ausdehnung verbunden ſind, ſo bilden ſie die fedrige Schichtwolke, cirro-stratus, welche, wenn ſie nahe am Horizonte ſtehen, den Anblick ausgedehnter Schichten bieten; oft überziehen die cirro-stratus den ganzen Himmel mit einem Schleier.

Wenn die Haufenwolken dichter werden, ſo gehen ſie in die ſtreifige Haufenwolke, cumulo-stratus, über, welche oft den ganzen Horizont mit einem blauſchwarzen Farbentone überziehen und endlich in die eigentliche Regenwolke, nimbus (in unſerer Figur links), übergehen.

Digitized by Google

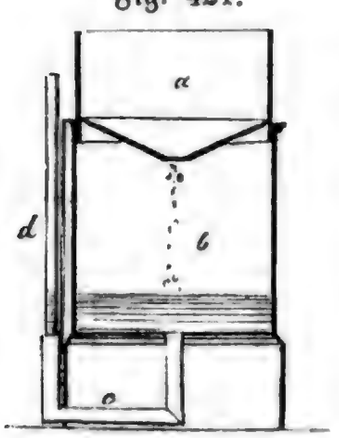
Wenn man bedenkt, wie außerordentlich mannigfaltig an Gestalt sowohl als auch an Farbe die verschiedenen Wolken seyn können, so begreift man wohl, daß es oft schwierig ist zu entscheiden, ob das Ansehen einer Wolke sich mehr dem einen oder dem andern Typus nähert.

Unter allen Wolkenarten sind die Federwolken die höchsten, denn auf hohen Bergen bieten sie noch denselben Anblick wie im Thale. Kämtz hat zu Halle ihre Höhe annähernd zu 20000 Fuß bestimmt. Es ist höchst wahrscheinlich, daß die cirrus nicht aus Nebelbläschen, sondern aus Schneeflöckchen bestehen.

Die Haufwolken bilden sich gewöhnlich, wenn durch den aufsteigenden Luftstrom die Wasserdämpfe in die Höhe geführt und dort, wegen der geringeren Temperatur, verdichtet werden. Daher kommt es, daß sich oft gegen Mittag Wolken bilden, während die Sonne am heiteren Himmel aufgegangen ist, und gegen Abend der Himmel wieder heiter wird, weil die Wolken sich wieder senken, wenn der aufsteigende Strom wieder aufhört; in tieferen, wärmeren Regionen angekommen, lösen sich dann die Wolken wieder auf, wenn die Luft nicht mit Dämpfen gesättigt ist. Wenn aber der Südwestwind mehr und mehr Wasserdämpfe herbeiführt, wenn die Luft mit Dämpfen gesättigt ist, so können die sich senkenden Wolken nicht wieder aufgelöst werden, sie werden dichter und dunkler, während oft hoch über den unteren Wolken eine Schicht von Federwolken schwebt. Die unteren Haufwolken gehen dann mehr und mehr in cumulo-stratus über, und man hat alsdann Regen zu erwarten.

Wenn durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen die einzelnen Dunstbläschen größer und schwerer werden, wenn endlich einzelne Bläschen sich nähern und zusammenfließen, so bilden sich förmliche Wassertropfen, welche nun als Regen herabfallen. In der Höhe sind die Regentropfen noch sehr klein, sie werden aber während des Fallens größer, weil sie wegen ihrer geringeren Temperatur die Wasserdämpfe der Luftschichten verdichten, durch welche sie herabfallen.

Fig. 421.



Regenmenge. Die Menge des Regens, welcher an irgend einem Orte der Erde im Laufe eines Jahres fällt, ist für die Meteorologie ein höchst wichtiges Element. Die Instrumente, deren man sich zu diesem Zwecke bedient, werden Regenmesser, Ombrometer oder Udometer genannt. Die Fig. 421 stellt den gewöhnlichen Regenmesser dar; er besteht aus einem Blechcylinder *b*, welcher 15 bis 20 Centimeter im Durchmesser hat und auf welchem ein zweiter Cylinder *a* mit trichterartigem Boden aufgesetzt 214

wird. In der Mitte dieſes Trichters befindet ſich eine Oeffnung, durch welche alles Waſſer, welches in Form von Regen in den oben offenen Cylinder *a* hineinfällt, in das Behälter *b* abfließt. Durch eine gekrümmte Röhre *c* ſteht das Behälter *b* mit einer Glasröhre *d* in Verbindung, vermittelſt deren man jederzeit erkennen kann, wie hoch das Waſſer in *b* ſteht. Vorausgeſetzt, daß die Querſchnitte von *a* und *b* gleich, oder doch nicht merklich verſchieden ſind, giebt die Höhe der Waſſerſchicht in *b* an, wie hoch ſich der Boden in einer gewiſſen Zeit bedeckt haben würde, wenn es nicht eingeſchluckt oder verdunſtet wäre.

In Frankfurt a. M. wurden in verſchiedenen Monaten der Jahre 1840 bis 1843 folgende Regenmengen beobachtet:

	1840.	1841.	1842.	1843.	Mittel.
Januar . . .	2″ 3‴	3″ 9‴	1″ 2‴	3″ 0‴	2″ 4‴
Februar . . .	1 1	10	4	1 10	1
März	10	1 3	3 2	6	1 5
April	2	1 3	4	1 10	11
Mai	10	1 6	1 8	3 11	2
Juni	2 2	3 1	9	5 6	2 10
Juli	2 1	1 9	1 11	2 10	2 2
Auguſt	10	3 1	4 2	3 7	2 11
September . .	2 5	2 2	2 1	2	2
October . . .	1 9	5	1 3	2 10	1 9
November . .	4 3	2 8	2 9	2 2	2 11
December . .	8	3 2	7	9	1 3

Daraus ergeben ſich für die verſchiedenen Jahreszeiten der erwähnten 4 Jahre die Regenmengen wie folgt:

	1840.	1841.	1842.	1843.	Mittel.
Winter . . .	7″ 1‴	5″ 3‴	4″ 8‴	5″ 5‴	5″ 6‴
Frühling . .	1 2	4	5 2	6 3	4 2
Sommer . . .	5 1	7 11	6 10	11 11	7 11
Herbſt	8 5	9 10	6 1	5 2	7 4
Jahr	21″ 9‴	27″	22″ 9‴	28″ 9‴	24″ 11‴

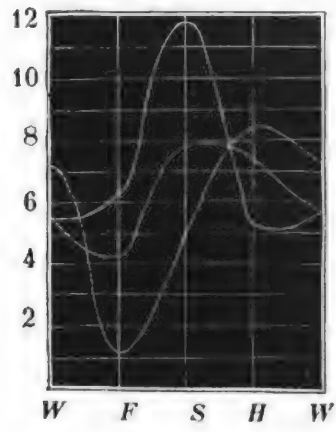
Hier iſt, um die Regenmenge des Winters zu erhalten, der des Januars und Februars eines jeden Jahres die Regenmenge des Decembers im vorhergehenden Jahre zugezählt.

Man ſieht alſo, wie wohl vorauszuſehen war, daß die Regenmenge von einem Jahre zum anderen ſich ändert und daß ſie in Frankfurt a. M. nach dieſen 4 Jahren im Durchſchnitt 24 Zoll 11 Linien (altfranz. Maaß) beträgt. In den Jahren 1841 und 1843 fiel mehr, in den beiden anderen Jahren aber weniger Regen.

Die Regenmenge iſt nicht gleichförmig auf die vier Jahreszeiten vertheilt, durchſchnittlich fällt im Sommer am meiſten, 7″ 11‴, im Frühjahr am wenigſten, 4″ 2‴, Regen.

In Fig. 422 ſtellt die mittlere Kurve die durchſchnittliche Vertheilung des Regens auf die 4 Jahreszeiten dar. Die obere Kurve ſtellt die Regenmenge der verſchiedenen Jahreszeiten für 1843, die untere für 1840 dar. Im Jahre 1843 ſieht man das Maximum der Regenmenge im Sommer ſehr hoch ſteigen; dieſer Sommer war ſehr feucht; im Jahre 1840 dagegen blieb die Regenmenge des Sommers weit unter dem Mittel; in dieſem Jahre regnete es aber im Herbſte ſehr viel.

Fig. 422.



Um die wahren Mittelzahlen für die Vertheilung des Regens an irgend einem Orte zu erhalten, muß man eine möglichſt große Reihe von Beobachtungszahlen combiniren.

Die folgenden Tabellen geben die Regenverhältniſſe verſchiedener Orte in Europa.

I. Portugal.

	Liſſabon.	Coimbra.	Mafra.	Funchal auf Madeira.
Jährl. Regenmenge	25,4 P.Z.	111,5	41,5	26,0
Im Winter	30,9 Proc.	21,0	53,4	50,6
» Frühling	33,9	18,6	27,5	16,3
» Sommer	3,4	17,6	2,7	2,8
» Herbſt	22,8	42,8	16,4	30,3

II. Weſtliches und ſüdliches England.

	Inſel Man	Briſtol	Liverpool	Mancheſter	Lancaſter	Dover
Jahr . .	34,8	21,8	32,3	23,9	37,2	44,1
Winter .	27,3	20,5	21,6	24,0	26,2	30,3
Frühling	18,2	23,8	17,9	20,0	16,1	20,1
Sommer.	19,7	23,2	27,7	27,0	28,3	21,6
Herbſt . .	34,8	32,5	32,9	29,0	29,4	28,0

III. Inneres und öſtliches England.

	Oxford	London	Dumfries	Glasgow	Edinburg	Chatts-worth
Jahr . .	20,6	23,4	34,7	20,0	23,3	25,9
Winter .	21,9	23,6	24,6	24,9	23,4	23,2
Frühling	19,3	22,4	18,3	17,8	19,9	19,9
Sommer	24,4	23,5	25,5	29,9	26,8	27,9
Herbſt . .	34,4	30,5	31,6	27,3	29,9	28,9

IV. Weſtküſte von Frankreich und die Niederlande.

	Bordeaux	La Rochelle	Franecker	Rotterdam	Breda	Middel-burg
Jahr . .	24,3	24,2	28,6	21,2	24,7	25,4.
Winter .	27,7	28,2	21,9	16,5	23,2	21,8
Frühling	21,4	19,7	16,8	22,3	18,0	14,1
Sommer.	24,1	17,9	28,8	29,8	23,9	31,5
Herbſt . .	26,7	34,2	32,5	31,9	34,9	32,6

V. Weſtrheiniſche Gegenden.

	Paris	Brüſſel	Cam-bray	Metz	Troyes	Straß-burg	Coblenz
Jahr	20,8	17,9	16,0	27,2	22,4	25,6	20,9
Winter . . .	20,7	18,7	13,8	21,6	18,7	16,0	16,2
Frühling . .	25,0	23,7	21,9	25,2	27,4	23,6	24,0
Sommer. . .	30,5	30,7	33,4	21,1	28,1	34,1	35,0
Herbſt	23,8	26,9	30,9	31,1	25,8	26,3	24,9

VI. Deutschland.

	Mannheim.	Stuttgart.	Ulm.	Regensburg.	Tegernsee.	Göttingen.	Erfurt.
Jahr	21,0	23,7	25,1	21,1	43,8	24,9	12,6
Winter . . .	18,3	20,1	21,3	19,3	16,4	18,4	15,5
Frühling . .	23,7	19,8	19,5	17,7	18,5	18,1	21,7
Sommer . . .	32,6	33,5	36,6	40,1	44,7	35,9	41,0
Herbst	25,4	26,6	22,6	22,9	20,4	27,6	21,8

VII. Schweden und Dänemark.

	Bergen.	Copenhagen.	Stockholm.	Upsala.	Abo.	Petersburg.
Jahr. . .	83,2	17,3	19,2	16,7	24,2	17,1
Winter .	26,6	19,1	14,8	17,4	17,7	13,6
Frühling	17,9	15,4	13,3	21,0	18,3	19,4
Sommer	21,0	37,7	38,0	32,8	28,0	36,5
Herbst . .	34,5	27,8	33,9	28,8	36,0	30,5

VIII. Südöstliches Frankreich und die Schweiz.

	Marseille.	Toulon.	Nimes.	Viviers.	Joyeuse.	Bourg en Bresse.	Toulouse.	Dijon.	Genf.	Bern.	Zürich.
Jahr . .	20,6	17,5	23,7	33,9	47,7	43,3	23,7	23,9	29,8	43,2	32,2
Winter .	20,8	23,0	22,3	19,4	20,3	20,8	21,0	17,9	21,6	20,9	20,3
Frühling	22,3	24,1	24,0	22,2	23,1	24,6	26,2	25,6	21,8	20,0	23,6
Sommer	12,5	9,3	13,9	20,0	16,2	24,4	24,0	27,6	29,7	35,1	33,3
Herbst .	44,4	43,6	39,8	38,4	40,4	30,2	28,8	28,9	26,9	24,0	22,8

IX. Italien.

	Palermo.	Rom.	Genua.	Florenz.	Siena.	Mailand.	Verona.	Padua.	Rovigo.
Jahr	20,7	29,3	44,4	38,7	32,0	35,5	34,6	34,6	30,8
Winter	39,1	31,0	27,2	35,7	19,7	21,1	18,3	19,0	31,0
Frühling	24,3	24,9	28,6	20,9	26,2	24,1	25,4	26,4	27,4
Sommer	5,5	9,7	9,2	12,9	18,2	23,9	26,1	25,6	14,3
Herbst	31,1	34,3	35,0	30,5	36,9	30,9	30,2	29,0	27,3

Die erſte Horizontalreihe einer jeden dieſer Tabellen giebt die jährliche Regenmenge in Pariſer Zollen an, die folgenden Horizontalreihen aber geben an, wieviel Procente der jährlichen Regenmenge auf die einzelnen Jahreszeiten kommen.

Aus der Betrachtung dieſer Tabellen ergiebt ſich zunächſt, daß ſich Europa in Beziehung auf die Vertheilung des Regens in drei Provinzen theilen läßt.

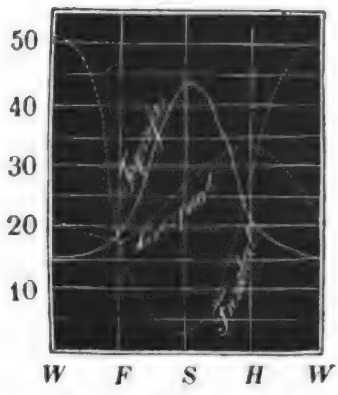
In England, auf den Weſtküſten von Frankreich, in den Niederlanden und Norwegen ſind die Herbſtregen vorherrſchend.

In Deutſchland, den weſtrheiniſchen Gegenden, Dänemark und Schweden herrſchen die Sommerregen vor.

Die Sommerregen fehlen im ſüdöſtlichen Frankreich, Italien, dem ſüdlichen Portugal, überhaupt in dem Theile Europa's, welcher Afrika zunächſt liegt, faſt ganz.

Dieſe Unterſchiede in der Vertheilung der Regenmenge ſind in Fig. 423 durch Kurven anſchaulich gemacht, welche die Vertheilung des Regens auf die vier Jahreszeiten an drei Orten darſtellen, an welchen der Charakter der erwähnten drei Provinzen ſehr entſchieden hervortritt. Als Ordinaten ſind die Procente der jährlichen Regenmenge genommen, welche auf jede der vier Jahreszeiten kommen.

Fig. 423.



Im Allgemeinen nimmt die Regenmenge mit der Entfernung vom Meere ab; bezeichnen wir die jährliche Regenmenge in Petersburg mit 1, ſo iſt die jährliche Regenmenge

in den Ebenen von Deutſchland . . . 1,2
im Innern von England 1,4
an den Küſten von England . . . . 2,1.

Die Regenmenge nimmt mit der Höhe der Orte über der Meeresfläche zu, weil die Berge einen Niederſchlag veranlaſſen, wenn ſie von einem Strome feuchter Luft getroffen werden; daher die bedeutende Regenmenge in den Alpen.

An einem und demſelben Orte nimmt die Regenmenge mit der Höhe über dem Boden ab, wahrſcheinlich weil die Regentropfen, indem ſie durch die mit Waſſerdampf geſättigte Luft herabfallen, ſich fortwährend vergrößern; ſo fallen z. B. im Hofe des Obſervatoriums zu Paris im Laufe eines Jahres durchſchnittlich 57^{cm}, auf der 28 Meter höher liegenden Teraſſe nur 50^{cm} Regen.

Die Anzahl der Regentage während eines Jahres nimmt in Europa

im Allgemeinen von Süden nach Norden zu. Im Durchschnitt kommen auf das Jahr

im südlichen Europa . . .	120	Regentage
» mittleren » . . .	146	»
» nördlichen » . . .	180	»

Daß die Regenmenge nicht allein von der Zahl der Regentage abhängen kann, ist klar, denn es kommt ja nicht allein darauf an, an wie vielen Tagen es regnet, sondern auch, wie viel es regnet. Wenn in nördlicheren Gegenden die Zahl der Regentage zunimmt, so nimmt dagegen die Intensität des Regens im Allgemeinen ab, und so erklärt es sich z. B., daß in Petersburg die Zahl der Regentage zwar größer, die Regenmenge aber geringer ist.

Mit der Entfernung vom Meere nimmt sowohl die Regenmenge als auch die Zahl der Regentage ab; so kommen z. B. im Durchschnitt

in Petersburg . . .	168
» Kasan	90
» Jakutzk.	60

Regentage auf das ganze Jahr.

So wie unter sonst gleichen Umständen der Regen in wärmeren Gegenden intensiver ist als in kälteren, so ist er auch in der warmen Jahreszeit intensiver als in der kalten. Im Durchschnitt kommen in Deutschland auf den Winter 38, auf den Sommer 42 Regentage; die Zahl der Regentage ist also im Sommer kaum etwas bedeutender als im Winter, und doch ist die Regenmenge im Sommer ungefähr doppelt so groß als im Winter. In den Sommermonaten fällt oft bei einem einzigen Gewitter mehr Regen als sonst in mehreren Wochen.

Regen zwischen den Wendekreisen. Da, wo die Passatwinde mit 215
großer Regelmäßigkeit wehen, ist der Himmel meistens heiter, und es regnet selten, namentlich wenn die Sonne auf der anderen Hemisphäre steht. Auf den Continenten aber wird die Regelmäßigkeit des Passates gestört durch die Intensität des aufsteigenden Luftstromes, sobald sich die Sonne dem Zenith nähert; um diese Zeit stellt sich auch ein mehrere Monate andauerndes heftiges Regenwetter ein, während die andere Hälfte des Jahres hindurch der Himmel heiter und die Luft trocken ist.

Humboldt hat uns die Erscheinungen der nassen Jahreszeit im nördlichen Theile von Südamerika beschrieben. Vom December bis zum Februar ist die Luft trocken und der Himmel heiter. Im März wird die Luft feuchter, der Himmel weniger rein, der Passatwind weht weniger stark, und oft ist die Luft ganz ruhig. Mit Ende März beginnen die Gewitter; sie bilden sich des Nachmittags, wenn die Hitze am größten ist, und sind von heftigen Regengüssen begleitet. Gegen Ende April fängt ei-

gentlich die naſſe Jahreszeit an; der Himmel überzieht ſich mit einem gleichförmigen Grau, und es regnet täglich von 9 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags; des Nachts iſt der Himmel meiſtens rein. Der Regen wird am heftigſten, wenn die Sonne im Zenith ſteht. Allmälig wird die Zeit des Tages, in welcher es regnet, immer kürzer, und gegen Ende der Regenzeit regnet es nur Nachmittags.

Die Dauer der Regenzeit iſt in verſchiedenen Gegenden nicht dieſelbe, ſie beträgt 3 bis 5 Monate.

In Oſtindien, wo die Regelmäßigkeit der Paſſatwinde durch örtliche Verhältniſſe geſtört iſt und wo ſtatt ihrer die Mouſſons wehen, finden wir auch anormale Regenverhältniſſe; an der ſteilen Weſtküſte von Vorderindien fällt die Regenzeit mit der Zeit unſeres Winters zuſammen, ſie fällt nämlich in die Zeit, zu welcher die Südweſtmouſſons wehen und, mit Feuchtigkeit beladen, an die hohen Gebirge anſtoßen. Während es auf der Küſte Malabar regnet, iſt auf der Oſtküſte Coromandel der Himmel heiter, hier ſtellt ſich die Regenzeit mit dem Nordoſtpaſſat, alſo gerade zu der Zeit ein, zu welcher auf der Weſtküſte die trockene Jahreszeit herrſcht.

In der Region der Calmen findet man dieſe periodiſchen Regen nicht, es finden hier faſt täglich heftige Regengüſſe Statt. Der aufſteigende Luftſtrom führt eine Maſſe von Waſſerdämpfen in die Höhe, welche ſich in den kälteren Regionen wieder verdichten. Die Sonne geht faſt immer bei heiterem Himmel auf, gegen Mittag aber bilden ſich einzelne Wolken, welche dichter und dichter werden, bis ihnen endlich meiſt unter heftigen Windſtößen und elektriſchen Entladungen eine ungeheure Regenmenge entſtrömt. Gegen Abend zerſtreut ſich das Gewölk, und die Sonne geht wieder bei heiterem Himmel unter.

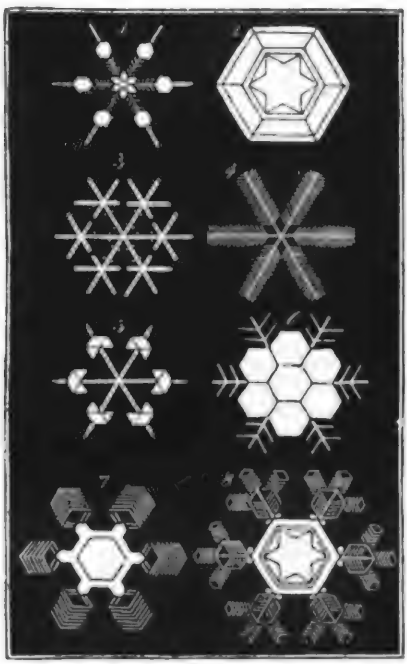
Die jährliche Regenmenge iſt im Allgemeinen in den Tropen ſehr groß, ſie beträgt z. B. in Bombay 73,5, in Kandy 68,9, in Sierra Leone 80,9, zu Rio Janeiro 55,6, auf St. Domingo 100,9, zu Havanna 85,7 und in Grenada 105 Pariſer Zoll. Bedenkt man nun, daß der Regen meiſt nur auf wenige Monate vertheilt iſt und daß es nur an wenigen Stunden des Tages regnet, ſo iſt klar, daß der Regen ſehr ſtark ſeyn muß. In Bombay fiel an einem Tage 6 Zoll, zu Cayenne in 10 Stunden 10 Zoll Regen. Die Regentropfen ſind ſehr groß und fallen mit ſolcher Geſchwindigkeit nieder, daß ſie auf der nackten Haut ein ſchmerzhaftes Gefühl erzeugen.

216 · **Schnee und Hagel.** Ueber die Bildung des Schnees weiß man bis jetzt noch ſehr wenig. Wahrſcheinlich beſtehen die Wolken, in denen ſich die Schneeflocken zuerſt bilden, nicht aus Dunſtbläschen, ſondern aus feinen Eiskryſtällchen, welche durch fortwährende Condenſation von Waſſer-

dämpfen größer werden und ſo Schneeflocken bilden, welche ſelbſt noch beim Herabfallen durch die unteren Luftſchichten wachſen. Sind die unteren Luftregionen zu warm, ſo ſchmelzen die Schneeflocken, ehe ſie den Boden erreichen, es regnet unten, während es oben ſchneit.

Auf die regelmäßige Geſtalt der Schneeflocken, welche man am beſten beobachten kann, wenn man ſie auf einem dunklen unter 0° erkalteten Körper auffängt, hat ſchon Keppler aufmerkſam gemacht. Scoresby hatte Gelegenheit, in den Polarregionen eine Menge intereſſanter Unterſuchungen über die Geſtalt der Schneeflocken zu machen. Sein Werk enthält gegen 100 verſchiedene Figuren, von welchen einige der intereſſanteſten in Fig. 424 zuſammengeſtellt ſind.

Fig. 424.



Schon eine oberflächliche Betrachtung dieſer Figuren zeigt, daß ſich alle dieſe Geſtalten im Weſentlichen auf einen regelmäßigen ſechsſeitigen Stern zurückführen laſſen, wonach denn die Schneeflocken dem hexagonalen Kryſtallſyſteme (dem Kryſtallſyſteme des Bergkryſtalls) angehören. Auch das Eis, wie es die Oberfläche der Flüſſe und Seen bedeckt, hat eine dieſem Kryſtallſyſteme entſprechende Structur, wenn man auch keine eigentlichen Kryſtallflächen an demſelben beobachten kann, wie dies durch die optiſchen Eigenſchaften des Eiſes ſchon oben, Bd. I. Seite 581, dargethan wurde.

Der Graupelregen, den man gewöhnlich im März und im April beobachtet, entſteht auf ähnliche Art wie der Schnee; die Graupelkörner beſtehen aus ziemlich feſt zuſammengeballten Eisnädelchen.

Der Hagel iſt eine der furchtbarſten Geißeln für den Landmann und eins der ſchwierigſten Phänomene für den Meteorologen. Wir benutzen in der folgenden Darſtellung einen intereſſanten Artikel, welchen Arago über dieſen Gegenſtand in dem Annuaire du bureau des longitudes für 1828 bekannt gemacht hat.

Die gewöhnliche Größe der Hagelkörner iſt die einer Haſelnuß; ſehr häufig fallen kleinere, ſie werden aber als weniger gefährlich nicht ſonderlich beachtet, oft ſind ſie aber auch noch weit größer und zerſchmettern

dann Alles, was sie treffen. Alte Chroniken erzählen von Hagelkörnern, welche so groß gewesen seyn sollen wie Elephanten; ohne uns bei solchen fabelhaften Erzählungen aufzuhalten, wollen wir sogleich zur Aufzählung zuverlässiger Nachrichten übergehen.

Halley erzählt, daß am 9. April 1697 Hagelkörner fielen, welche 10 Loth wogen; Robert Taylor hat am 4. Mai 1697 Hagelkörner gemessen, deren Durchmesser 4 Zoll betrug. Montignot sammelte den 11. Juli 1753 zu Toul Hagelkörner, welche 3 Zoll Durchmesser hatten. Volta versichert, daß man unter den Hagelkörnern, welche in der Nacht vom 19. auf den 20. August 1787 die Stadt Como und ihre Umgebungen verwüsteten, einige gefunden habe, welche 18 Loth wogen. Nach Nöggerath fielen während des Hagelwetters vom 7. Mai 1822 zu Bonn Hagelkörner, welche 24 bis 26 Loth wogen.

Diese Zeugnisse beweisen zu Genüge, daß manchmal Hagelkörner fallen, welche über ½ Pfund schwer sind.

Die Form der Hagelkörner ist sehr verschieden. In der Regel sind sie abgerundet, manchmal aber auch abgeplattet oder eckig. In der Mitte der Hagelkörner befindet sich in der Regel ein undurchsichtiger Kern, welcher den Graupelkörnern gleicht; dieser Kern ist mit einer durchsichtigen Eismasse umgeben, in welcher sich manchmal einzelne concentrische Schichten unterscheiden lassen; bisweilen beobachtet man abwechselnd durchsichtige und undurchsichtige Eisschichten, endlich hat man auch schon Hagelkörner mit strahliger Structur beobachtet.

Pouillet fand, daß die Temperatur der Hagelkörner — 0,5 bis — 4° beträgt.

Der Hagel geht gewöhnlich den Gewitterregen voran, oder er begleitet sie. Nie, oder wenigstens fast nie, folgt der Hagel auf den Regen, namentlich wenn der Regen einige Zeit gedauert hat.

Das Hagelwetter dauert meistens nur einige Minuten, selten dauert es ¼ Stunde lang. Die Menge des Eises, welches in so kurzer Zeit den Wolken entströmt, ist ungeheuer; die Erde ist manchmal mehrere Zoll hoch damit bedeckt.

Der Hagel fällt häufiger bei Tage als bei Nacht. Die Wolken, welche ihn bringen, scheinen eine bedeutende Ausdehnung und eine bedeutende Tiefe zu haben, denn sie verbreiten in der Regel eine große Dunkelheit. Man glaubt bemerkt zu haben, daß sie eine eigenthümliche grauröthliche Farbe besitzen, daß an ihrer unteren Grenze große Wolkenmassen herabhängen und daß ihre Ränder vielfach zerrissen erscheinen.

Die Hagelwolken scheinen meistens sehr niedrig zu schweben. Die Bergbewohner sehen öfters unter sich Wolken, welche die Thäler mit Hagel

überschütten; ob jedoch die Hagelwolken immer so tief ziehen, läßt sich nicht mit Sicherheit ausmachen.

Einige Augenblicke vor dem Beginne des Hagelwetters hört man ein eigenthümliches, rasselndes Geräusch. Endlich ist der Hagel stets von elektrischen Erscheinungen begleitet.

Um einen Begriff zu geben, wie weit und wie schnell sich diese furchtbare Geißel verbreiten kann, mögen hier einige nähere Angaben über das Hagelwetter folgen, welches den 13. Juli 1788 Frankreich und Holland durchzog.

Das Hagelwetter verbreitete sich gleichzeitig in zwei perallelen Streifen; der östliche Streifen war schmäler, seine größte Breite betrug 5, seine geringste $\frac{1}{2}$ Meile (lieue = 2300 Toisen); der westliche Streifen war an seiner schmalsten Stelle 3, an seiner breitesten 5 Meilen breit. Diese beiden Streifen waren durch einen im Durchschnitt $5\frac{1}{4}$ Meilen breiten Streifen getrennt, auf welchem es nur regnete..

Die Richtung dieser Streifen ging von Südwest nach Nordost. Eine von Amboise nach Mecheln gezogene gerade Linie bildete ungefähr die Mitte des östlichen, eine andere von der Mündung des Indre in die Loire bis Gent gezogene bildete ungefähr die Mitte des westlichen Streifens.

Auf dieser ganzen Länge, welche über 100 Meilen beträgt, fand keine Unterbrechung des Gewitters Statt, und sicheren Angaben zufolge kann man annehmen, daß es sich noch 50 Meilen weiter nach Süden und 50 Meilen weiter nach Norden erstreckte, so daß seine Totallänge über 200 Meilen betrug. Es verbreitete sich mit einer Geschwindigkeit von 16 Meilen in der Stunde von den Pyrenäen, wo es seinen Anfang genommen zu haben scheint, bis zum baltischen Meere, wo man seine Spuren verlor.

An jedem Orte fiel der Hagel nur 7 bis 8 Minuten lang, die Hagelkörner waren theils rund, theils zackig; die schwersten wogen 16 Loth.

Die Zahl der in Frankreich verwüsteten Pfarrdörfer betrug 1039; der Schaden, welchen das Wetter anrichtete, wurde nach officiellen Angaben auf 24690000 Franken geschätzt.

Was die Erklärung des Hagels betrifft, so bietet sie zwei Schwierigkeiten; nämlich woher die große Kälte kommt, welche das Wasser gefrieren macht, und dann, wie es möglich ist, daß die Hagelkörner, wenn sie einmal so groß geworden sind, daß sie eigentlich durch ihr Gewicht herabfallen müßten, noch so lange in der Luft bleiben können, daß sie zu einer so bedeutenden Masse erwachsen können.

Was die erste Frage betrifft, so meinte Volta, daß die Sonnenstrahlen an der oberen Gränze der dichten Wolke fast vollständig absorbirt würden, was eine rasche Verdunstung zur Folge haben müsse, namentlich wenn die Luft über den Wolken sehr trocken ist; durch diese Verdunstung solle nun

ſo viel Wärme gebunden werden, daß das Waſſer in den tieferen Wolkenſchichten gefriert. Wenn aber die Verdunſtung des Waſſers in den oberen Wolkenſchichten durch die Wärme der Sonnenſtrahlen veranlaßt wird, ſo iſt nicht einzuſehen, warum durch dieſe Verdunſtung den tieferen Wolkenſchichten ſo viel Wärme entzogen werden ſoll.

In Beziehung auf die zweite Frage ſchlug Volta eine in der That geiſtreiche Theorie vor, welche auch eine große Celebrität erlangt hat; er nimmt an, daß zwei mächtige, mit entgegengeſetzter Elektricität geladene Wolkenſchichten über einander ſchweben. Wenn nun die noch ſehr kleinen Hagelkörner auf die untere Wolke fallen, ſo werden ſie bis zu einer gewiſſen Tiefe eindringen und ſich mit einer neuen Eisſchicht umgeben; ſie werden ſich aber auch mit der Elektricität der unteren Wolke laden und von dieſer zurückgeſtoßen, während die obere ſie anzieht; ſie ſteigen alſo trotz ihrer Schwere wieder zur oberen Wolke in die Höhe, wo ſich derſelbe Vorgang wiederholt; ſo fahren ſie eine Zeitlang zwiſchen den beiden Wolken hin und her, bis ſie endlich herabfallen, wenn ſie zu ſchwer werden und die Wolken ihre Elektricität verlieren.

Gegen dieſe Anſicht läßt ſich einwenden, daß es ſchwer denkbar iſt, wie die Elektricität ohne eine plötzliche Wirkung, alſo ohne einen Entladungsſchlag, ſo große Eismaſſen in die Höhe zu heben vermag, und daß, wenn wirklich die elektriſche Ladung der beiden Wolken auch ſo ſtark ſeyn ſollte, die Elektricität augenblicklich von einer zur andern übergehen müßte, namentlich da ja die Hagelkörner eine leitende Verbindung zwiſchen ihnen herſtellen.

Fünftes Kapitel.

Optiſche Erſcheinungen der Atmoſphäre.

217 **Farbe des Himmels.** Der heitere Himmel erſcheint uns blau, und zwar iſt dieſes Blau je nach dem Zuſtande der Atmoſphäre bald heller und weißlicher, bald dunkler; auf hohen Bergen erſcheint der Himmel ſehr dunkelblau, ja faſt ſchwarz. Es iſt dies leicht zu erklären; wenn die Luft abſolut durchſichtig wäre, wenn die einzelnen Lufttheilchen gar kein Licht reflectirten oder vielmehr zerſtreuten, ſo müßte uns der Himmel vollkommen ſchwarz erſcheinen, die Sonne, der Mond, die Sterne würden glänzend auf dem ſchwarzen Grunde ſtehen; nun aber reflectiren die Lufttheilchen das Licht, und ſo kommt es, daß bei Tage der ganze Himmel hell erſcheint, weil die von der Sonne erleuchteten Lufttheilchen das Licht nach allen Seiten hin zerſtreuen. Dieſe Erleuchtung der Atmoſphäre durch die

Sonnenſtrahlen iſt die Urſache, daß wir die Sterne bei Tage nicht ſehen können. Die Lufttheilchen reflectiren vorzugsweiſe das blaue Licht, und deshalb erſcheint uns der an und für ſich dunkle Himmelsraum mit Blau überzogen. Je höher wir uns in die Atmoſphäre erheben, deſto dünner wird dieſer blaue Ueberzug und deſto dunkler wird uns alſo auch der Himmel erſcheinen; ſo erſcheint auch im Zenith der Himmel ſtets am dunkelſten blau und gegen den Horizont mehr weißlich.

Das reine Blau des Himmels wird beſonders durch die in der Luft ſchwebenden condenſirten Waſſerdämpfe gebleicht, durch feine Nebel, welche oft den Himmel mit einem leichten Schleier überziehen, ohne doch ſchon dicht genug zu ſeyn, um als Wolken zu erſcheinen.

Die Erſcheinungen der Abend- und Morgenröthe wurden dadurch erklärt, daß man ſagte, die Luft laſſe vorzugsweiſe die rothen und gelben Strahlen durch, ſie reflectire aber die blauen; des Abends und des Morgens haben aber die Sonnenſtrahlen einen ſehr weiten Weg durch die Atmoſphäre zurückzulegen, daher die rothe Färbung der durchgelaſſenen Strahlen, welche beſonders brillant iſt, wenn Wolken durch dieſe Strahlen beleuchtet werden.

Forbes hat gezeigt, daß dieſe Meinung nicht ganz richtig ſeyn kann, indem das Blau des Himmels durchaus nicht die complementäre Farbe des Abendrothes iſt. Nach Forbes rührt das Abend- und Morgenroth nicht von der Luft ſelbſt, ſondern von dem in derſelben enthaltenen Waſſerdampfe her.

Eines Tages ſtand Forbes neben einem Dampfwagen, der durch ſein Sicherheitsventil eine große Menge Dampf entließ; zufällig ſah er durch die aufſteigende Dampfſäule nach der Sonne und war überraſcht, ſie ſehr tief orangeroth gefärbt zu ſehen. Später beobachtete er noch öfters daſſelbe Phänomen und entdeckte eine wichtige Abänderung deſſelben. Einige Fuß über dem Sicherheitsventile, zu welchem der Dampf herausblies, war deſſen Farbe für durchgehendes Licht das erwähnte tiefe Orangeroth; in größerer Entfernung jedoch, wo der Dampf vollſtändiger verdichtet war, hörte die Erſcheinung gänzlich auf. Selbſt bei mäßiger Dicke war die Dampfwolke durchaus undurchdringlich für die Sonnenſtrahlen, ſie warf einen Schatten wie ein feſter Körper; und wenn ihre Dicke gering war, ſo war ſie zwar durchſcheinend, aber durchaus farblos. Die Orangefarbe des Dampfes ſcheint alſo einer beſondern Stufe der Verdichtung anzugehören. Bei vollkommener Gasgeſtalt iſt der Waſſerdampf ganz durchſichtig und farblos, in jenem Uebergangszuſtande iſt er durchſichtig und rauchroth, wenn er aber vollſtändig zu Nebelbläschen verdichtet iſt, ſo iſt er bei geringer Dicke durchſcheinend und farblos, bei großer Dicke vollkommen undurchſichtig.

Forbes wendet dies zur Erklärung der Abendröthe an. Als reine, farbloſe, elaſtiſche Flüſſigkeit giebt der Waſſerdampf der Luft ihre größte Durchſichtigkeit, wie man ſie beſonders beobachtet, wenn ſich nach einem heftigen Regen der Himmel wieder aufhellt. Im Uebergangszuſtande läßt er die gelben und rothen Strahlen durch und bringt in dieſem Zuſtande die Erſcheinungen der Abendröthe hervor.

Dieſe Theorie erklärt auch ſehr gut, daß das Abendroth weit brillanter iſt als das Morgenroth; daß Abendroth und Morgengrau die Anzeigen ſchönen Wetters ſind. Gleich nach dem Temperaturmaximum des Tages und vor Sonnenuntergang fangen der Boden und die Luftſchichten in verſchiedener Höhe an, Wärme durch Strahlung zu verlieren. Bevor ſich aber in Folge deſſen der Waſſerdampf vollſtändig verdichtet, durchläuft er jenen Uebergangszuſtand, welcher die Abendröthe erzeugt. Des Morgens iſt es anders. Die Dämpfe, welche bei Umkehrung des Proceſſes wahrſcheinlich das Roth erzeugt haben würden, ſteigen nicht eher auf, als bis die Wirkung der Sonne lange genug angehalten hat, alsdann iſt aber die Zeit des Sonnenaufgangs vorüber, die Sonne ſteht ſchon hoch am Himmel. Das feurige Anſehen des Morgenhimmels rührt von der Anweſenheit eines ſolchen Ueberſchuſſes an Feuchtigkeit her, daß durch die Verdichtung in höheren Regionen wirklich Wolken entſtehen, im Gegenſatze mit der Tendenz der ſteigenden Sonne, ſie zu zerſtreuen; das Morgenroth iſt deshalb als Vorbote baldigen Regens zu betrachten.

Wenn die Sonne am weſtlichen Horizonte verſchwunden iſt, ſo tritt nicht plötzlich die Dunkelheit ein, ſondern eine Dämmerung, welche nach Umſtänden bald längere, bald kürzere Zeit dauert. Dieſe Dämmerung rührt daher, daß die Luft am weſtlichen Himmel und die in ihr ſchwebenden Waſſertheilchen noch lange von der Sonne beſchienen werden, nachdem ſie unſeren Blicken ſchon verſchwunden iſt, und daß dieſe erleuchteten Luft- und Waſſertheilchen uns noch ein allmälig mehr und mehr abnehmendes Licht zuſenden. In unſeren Gegenden dauert die Dämmerung ungefähr bis die Sonne 18^0 unter dem Horizonte iſt. Die längere Dauer der Dämmerung in höheren Breiten rührt beſonders daher, daß die Sonnenbahn dort ſehr ſtark gegen den Horizont geneigt iſt und daß es deshalb ſehr lange dauert, bis die Sonne 18^0 unter dem Horizonte ſteht. Je mehr wir uns dem Aequator nähern, deſto weniger ſchräg iſt die Sonnenbahn gegen den Horizont; unter dem Aequator ſelbſt macht ſie einen rechten Winkel mit demſelben; in den heißen Ländern iſt deshalb die Dämmerung von kürzerer Dauer. In Italien iſt ſie kürzer als bei uns; in Chili dauert ſie nur $^1/_4$ Stunde, in Cumana nur einige Minuten. Dieſe ſo ſehr kurze Dauer der Dämmerung läßt ſich nicht allein durch die Rich-

tung der Sonnenbahn gegen den Horizont erklären, sie hat zum Theil auch in der außerordentlichen Reinheit des Himmels ihren Grund, denn in unseren Gegenden tragen die zarten, hoch in der Luft schwebenden Nebel, welche bei Tage den Himmel mit einem Schleier überziehen, die Lichtstrahlen aber stark reflectiren, sehr zur Verlängerung der Dämmerung bei.

Luftspiegelung. Wenn man entfernte Gegenstände betrachtet, so 218
sieht man bisweilen noch gerade, schiefe oder umgekehrte Bilder derselben. Diese Bilder, welche ohne sichtbaren Spiegel hervorgebracht werden, nennt man Luftbilder.

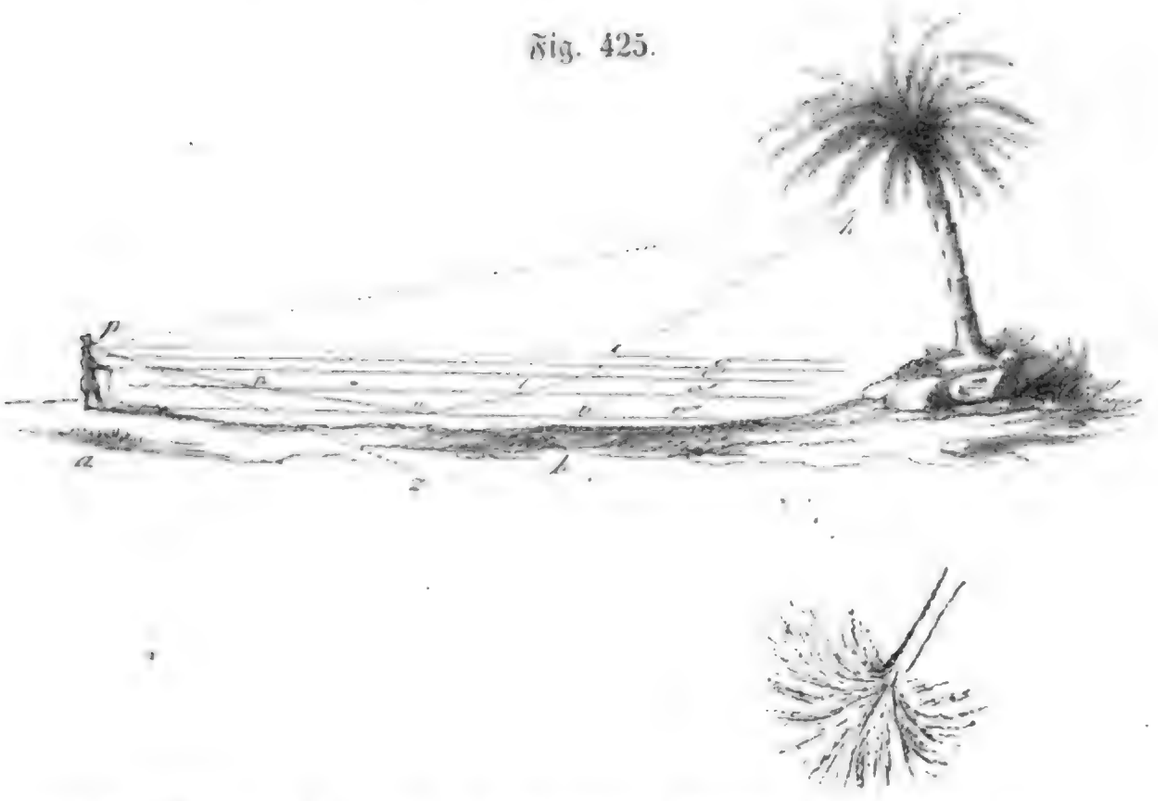
Wir wollen uns zunächst mit dieser Erscheinung beschäftigen, wie sie in den Ebenen von Aegypten beobachtet wird.

Der Boden von Niederägypten bildet eine weite Ebene, über welcher sich zur Zeit der Ueberschwemmung die Gewässer des Nils verbreiten. An den Ufern des Flusses und bis auf eine große Entfernung gegen die Wüste hin sieht man kleine Erhöhungen, auf welchen sich Gebäude und Dörfer erheben. Gewöhnlich ist die Luft ruhig und rein. Wenn die Sonne aufgeht, erscheinen alle entfernten Gegenstände scharf und deutlich, sobald aber die Tageshitze merklich, der Boden durch die Sonnenstrahlen erhitzt wird und die unteren Luftschichten an dieser hohen Temperatur Theil nehmen, so entsteht in der Luft eine Art zitternder Bewegung, welche dem Auge sehr merklich ist und welche auch in unseren Gegenden an heißen Sommertagen beobachtet wird. Wenn nun kein Wind geht und die Luftschichten, welche auf dem Boden ruhen, unbeweglich bleiben, während sie durch die Berührung mit dem Boden erhitzt werden, so entwickelt sich das Phänomen der Luftspiegelung in seiner ganzen Pracht. Der Beobachter, welcher nach der Ferne schaut, sieht noch das directe Bild aller Erhöhungen, der Dörfer, kurz aller hohen Gegenstände, unterhalb derselben sieht er aber ihr verkehrtes Bild, ohne den Boden sehen zu können, auf welchem sie sich erheben; alle diese Gegenstände erscheinen ihm also, als ob sie sich mitten in einem ungeheuren See befänden. Diese Erscheinung wurde während der französischen Expedition in Aegypten oft beobachtet, sie war für die Soldaten ein ganz neues Schauspiel und eine grausame Täuschung. Wenn sie aus der Ferne den Reflex des Himmels, das verkehrte Bild der Häuser und Palmbäume sahen, so konnten sie nicht zweifeln, daß alle diese Bilder durch die Oberfläche eines Sees gespiegelt seyen. Ermüdet durch forcirte Märsche, durch die Sonnenhitze und eine mit Sand beladene Luft, liefen sie dem Ufer zu, aber dieses Ufer floh vor ihren Augen; es war die erhitzte Luft der Ebene, welche das Ansehen von Wasser hatte und welche das Spiegelbild des Himmels und aller erhabenen

Gegenſtände der Erde zeigte. Die Gelehrten, welche die Expedition begleiteten, waren ebenfalls, wie das ganze Heer, getäuſcht, aber die Täuſchung war von kurzer Dauer. Monge entdeckte auf der Stelle die wahre Urſache.

Bei ſtarker Sonnenhitze und ruhiger Luft iſt es möglich, daß die unteren Luftſchichten, welche, von dem Boden erhitzt, eine geringere Dichtigkeit beſitzen als die höheren kälteren, ruhig auf dem Boden ausgebreitet bleiben und nicht aufſteigen. Dies vorausgeſetzt, ſey $a\,b$, Fig. 425, der hori-

Fig. 425.



zontale Boden, h irgend ein erhabener Punkt. Wir wollen nun unterſuchen, auf welche Weiſe das Licht von h in das Auge des in p befindlichen Beobachters gelangen kann. Zunächſt iſt klar, daß das Auge ein directes Bild des Punktes h in der Richtung $p\,h$ ſieht, die Strahlen werden zwar nicht in einer abſolut geraden Linie von h nach p gelangen, weil die Luft nicht überall gleiche Dichtigkeit hat, ſie werden aber doch nur eine unbedeutende Ablenkung erleiden, wodurch höchſtens einige Unregelmäßigkeit in den Contouren des directen Bildes entſtehen kann.

Unter den Strahlen, welche der Punkt h nach allen Richtungen ausſendet, ſind aber auch ſolche, welche den Weg $h\,i\,l\,m\,n\,p$ verfolgen und welche alſo in der Richtung $p\,z$ ein verkehrtes Bild des Gegenſtandes geben. In der That wird der Strahl $h\,i$, wenn er auf die weniger dichte Luftſchicht c trifft, ſo gebrochen werden, daß er ſich vom Einfallslothe entfernt; ebenſo wird er ſich wieder vom Einfallslothe entfernen, wenn er

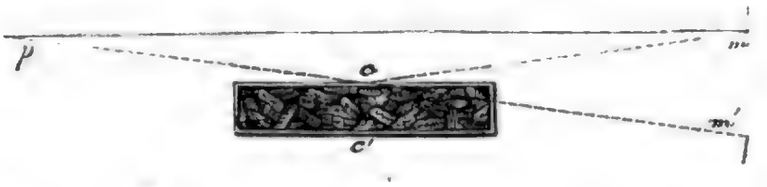
auf die nächſte, abermals weniger dichte Luftſchicht trifft u. ſ. w. So wird denn die Richtung der Strahlen immer ſchräger, bis ſie endlich aus der Schicht, in welcher ſie ſich befinden, nicht mehr in eine noch dünnere übergehen können; ſie werden reflectirt und gelangen in der Richtung *mnp* in das Auge.

In unſerer Figur iſt der Weg der Strahlen als eine gebrochene Linie gezeichnet worden; da aber die Dichtigkeit der Luftſchichten nach dem Boden hin allmälig abnimmt, ſo werden auch die Strahlen allmälig abgelenkt werden und eine krumme, nicht eine gebrochene Linie bilden.

Dies iſt die Erklärung, welche Monge von dieſen Luftbildern gegeben und in den Mémoires de l'Institut d'Egypte bekannt gemacht hat.

Der folgende Verſuch mag dienen, dieſe Erklärung zu erläutern, obgleich er nur eine ſchwache Nachahmung der Luftſpiegelung iſt. Es ſey *c c'*, Fig. 426, ein Kaſten von Eiſenblech, ungefähr 1 Meter lang, 15 bis 18

Fig. 426.



Centimeter hoch und breit; er war mit glühenden Kohlen gefüllt und ungefähr in die Höhe des Auges gebracht. Wenn man nun oben über den Kaſten hinſieht, ſo erblickt man in der Richtung *p m* das directe, in der Richtung *p m'* aber das verkehrte Bild eines entfernten Viſirpunktes *m*. An den Seitenwänden des Kaſtens kann man dieſelbe Erſcheinung beobachten.

Wollaſton hat noch einen anderen Verſuch ausgeſonnen, um ſolche Bilder in Flüſſigkeiten hervorzubringen. Man gieße in ein rundes oder viereckiges Gefäß von Kryſtallglas zwei paſſende Flüſſigkeiten über einander, welche ungleiche Dichtigkeit haben und welche ſich an der Gränzfläche allmälig mit einander verbinden, wie Waſſer und Schwefelſäure, Waſſer und Weingeiſt, Waſſer und Zuckerſyrup u. ſ. w.; ſieht man über die Grenzfläche hinweg, etwa nach einer auf die Außenſeite des Glaſes gemalten Schrift, ſo ſieht man von derſelben ein aufrechtes und ein verkehrtes Bild.

Auch an anderen Orten und unter anderen Umſtänden werden oft Luftbilder beobachtet. So beobachtete z. B. Vince in Ramsgate eine merkwürdige Wirkung von Luftſpiegelung. Wenn man von Ramsgate nach der Küſte von Dover hinſieht, ſo erblickt man bei ſchönem Wetter die Spitzen der vier höchſten Thürme des Schloſſes von Dover. Der Reſt des Gebäudes iſt hinter einem Bergrücken verborgen, welcher ungefähr

12 Meilen (englische?) weit vom Beobachter entfernt ist. Am 6. August 1806 Abends gegen 7 Uhr war Vince sehr erstaunt, nicht allein die vier Thürme, sondern das ganze Schloß bis zum Boden zu erblicken. Dies war offenbar eine Wirkung der atmosphärischen Refraction. Wegen der sehr ungleichen Erwärmung und Dichtigkeit waren die Lichtstrahlen in krummer Linie ins Auge gelangt.

Derselbe Physiker hat noch ähnliche Erscheinungen beobachtet und bekannt gemacht, besonders, indem er mit einem guten Teleskope die sich nähernden und entfernenden Schiffe betrachtete; so sah er z. B. eines Tages ein Schiff gerade am Horizonte; er konnte es ganz deutlich unterscheiden, zu gleicher Zeit sah er aber auch gerade über demselben ein ganz regelmäßiges, umgekehrtes Bild, so daß die Spitzen der Masten des directen und des verkehrten Bildes zusammenstießen, wie dies Fig. 427 dargestellt

Fig. 427.

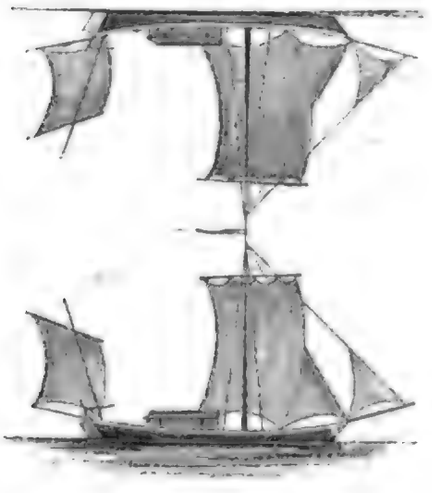
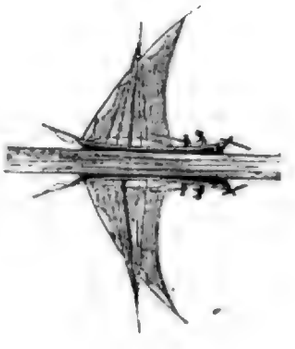


Fig. 428.



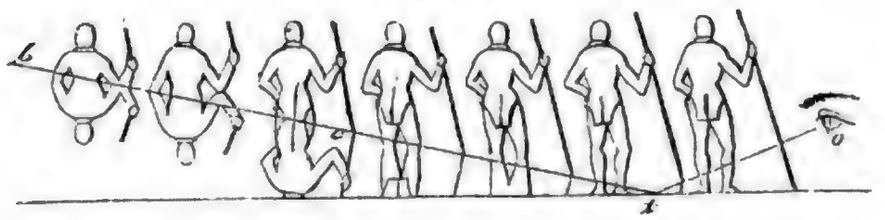
ist. Ein anderes Mal sah er von einem Schiffe, dessen Masten erst über dem Horizonte waren, zwei vollständige Bilder, Fig. 428, ein aufrechtes und ein verkehrtes.

Solche Erscheinungen der ungewöhnlichen Brechung und Luftspiegelung, welche auf dem Meere öfters beobachtet werden, sind unter dem Namen der Erhebung oder des Seegesichtes bekannt. Scoresby hatte in den grönländischen Meeren häufig Gelegenheit, sie wahrzunehmen. Bald sah er entfernte Schiffe in vertikaler Richtung verlängert oder zusammengedrückt, bald sah er doppelte Bilder, ein aufrechtes und ein verkehrtes, von Schiffen, welche in einer Entfernung von 30 Seemeilen, also noch vollständig unter dem Horizonte waren. Alle diese Erscheinungen rühren nur von der ungleichen Temperatur und Dichtigkeit der verschiedenen Luftschichten her.

Biot und Mathieu haben bei Dünkirchen am Ufer des Meeres auf einer sandigen Ebene, welche sich bis zum Fort Risban erstreckt, ähnliche

Erſcheinungen beobachtet, und Biot hat eine vollſtändige Erklärung derſelben gegeben. Er hat gezeigt, daß unter gewiſſen Umſtänden von einem Punkte *t*, Fig. 429, aus, welcher ſich in einiger Entfernung von dem

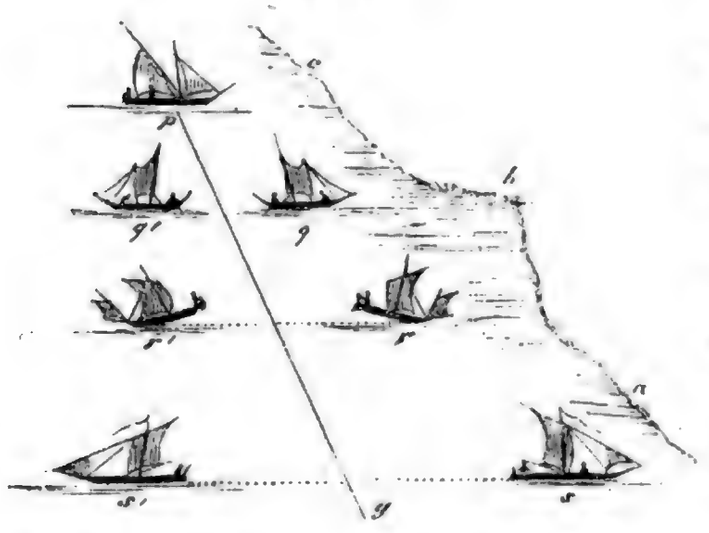
Fig. 429.



Beobachter befindet, man ſich eine Linie *t c b* gezogen denken kann, ſo daß alle Gegenſtände, welche ſich unter derſelben befinden, unſichtbar bleiben, während man von den Gegenſtänden, welche ſich bis zu einer gewiſſen Höhe über derſelben befinden, zwei Bilder ſieht, ein directes über und ein verkehrtes unter dieſer Linie. Ein Menſch alſo, welcher ſich allmälig von dem Beobachter entfernt, wird der Reihe nach die verſchiedenen in Fig. 429 dargeſtellten Erſcheinungen geben.

In allen bisher betrachteten Fällen waren die Bilder über oder unter dem Gegenſtande ſelbſt. Im September 1818 beobachteten Soret und Jurine auf dem Genferſee ein Luftbild, welches ſeitwärts vom Gegenſtande lag; ſie befanden ſich am Ufer des Sees im zweiten Stocke von Jurine's Hauſe und ſahen mit dem Fernrohre in der Richtung *g p*, Fig. 430, nach einem Schiffe, welches ſich in einer Entfernung von zwei Meilen dem Vorgebirge Belle Rive gegenüber befand und nach Genf ſegelte. Während das Schiff allmälig nach *q*, *r* und *s* kam, ſahen ſie ein deutliches Bild zur Seite in *q'*, *r'*, *s'*, welches ſich wie das Schiff ſelbſt näherte, während die Entfernung des Schiffes und ſeines Bildes größer wurde. Wenn die Sonne die Segel beleuchtete, war das Bild ſo hell, daß man es mit bloßen Augen ſehen konnte.

Fig. 430.



Dieſe Erſcheinung erklärt ſich dadurch, daß die Luft über dem See am öſtlichen Ufer *a b c* des Morgens noch einige Zeit im Schatten war, während ſie weiter links ſchon durch die Sonne erwärmt wurde; ſo konnte

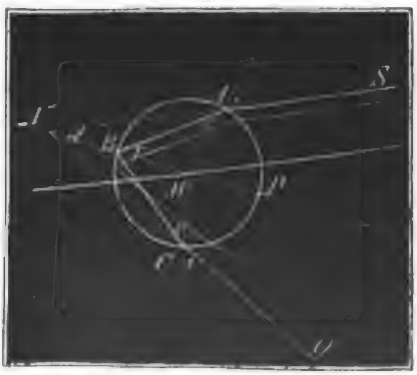
die Trennungsfläche der warmen und kalten Luft bis zu einer geringen Höhe über dem Waſſer vertikal ſeyn.

Dieſe Beiſpiele mögen hinreichen, um eine Idee von den mannigfaltigen und oft bizarren Erſcheinungen zu geben, welche durch die außergewöhnliche Brechung des Lichts in aneinander gränzenden Luftſchichten von ſehr verſchiedener Dichtigkeit hervorgebracht werden. Wir haben bisher angenommen, daß dieſe Luftſchichten in ebenen Flächen an einander gränzen; wenn dies aber nicht der Fall iſt, wenn die Grenzflächen gekrümmt und unregelmäßig ſind, ſo erſcheinen die Bilder verzerrt. Es iſt nicht zu bezweifeln, daß die unter dem Namen Fata Morgana bekannten Erſcheinungen eine Wirkung der Luftſpiegelung ſind. Sie werden zu Neapel, zu Reggio und an den Küſten von Sicilien beobachtet. Auf einmal ſieht man in großer Entfernung in den Lüften Ruinen, Säulen, Schlöſſer, Paläſte, kurz eine Menge von Gegenſtänden, deren Anblick ſich fortwährend ändert. Das Volk ſtrömt dann dem Ufer zu, um dieſes ſonderbare Schauſpiel anzuſehen. Dieſe feenhafte Erſcheinung beruht darin, daß Gegenſtände ſichtbar werden, die man bei dem gewöhnlichen Zuſtande der Atmoſphäre nicht ſehen kann und welche zerriſſen, verzerrt und ſich fortwährend zu bewegen ſcheinen, weil die ungleich dichten Luftſchichten in ſteter Bewegung ſind.

219 **Der Regenbogen.** Es iſt allgemein bekannt, daß man einen Regenbogen ſieht, wenn man eine regnende Wolke vor ſich und die Sonne im Rücken hat. Der Regenbogen bildet gleichſam die Baſis eines Kegels, deſſen Spitze das Auge bildet und deſſen Axe mit der geraden Linie zuſammenfällt, welche man durch die Sonne und das Auge legen kann. Unter den eben angegebenen Bedingungen erſcheint auch der Regenbogen in dem Staubregen der Waſſerfälle und Springbrunnen.

Um den Regenbogen zu erklären, muß man den Weg der Sonnenſtrahlen durch die Regentropfen verfolgen.

Fig. 431.



Wenn ein Sonnenſtrahl $S\,A$, Fig. 431, einen Regentropfen trifft, ſo wird er gebrochen, und es iſt leicht, die Richtung des gebrochenen Strahls $A\,B$ zu berechnen oder zu conſtruiren. Bezeichnet man den Einfallswinkel mit i, den Brechungswinkel mit r, ſo iſt $\sin.\, i = 1{,}33\, \sin.\, r$, weil 1,33 der Brechungsexponent für Waſſer iſt. In B wird der Strahl theils gebrochen, theils geſpiegelt, der geſpiegelte trifft

in C von Neuem die Oberfläche des Tropfens und wird in der Richtung CO gebrochen. Verlängert man die Linien SA und OC, ſo ſchneiden ſie ſich in N. Der Winkel ANC, den wir mit d bezeichnen wollen, iſt der Winkel, welchen der austretende Sonnenſtrahl mit dem einfallenden macht, und die Größe dieſes Winkels ſoll zunächſt beſtimmt werden. Ziehen wir in dem Punkte B, in welchem der Strahl geſpiegelt wird, das Einfallsloth BN, ſo iſt der Winkel $BNA = \frac{1}{2}\,d$. Der Winkel PMA iſt, wie leicht einzuſehen, $= 2\,r$ (als Außenwinkel des Dreiecks MBA), und da $2\,r$ ein Außenwinkel des Dreiecks MAN iſt, ſo haben wir

$$\tfrac{1}{2}\,d = 2\,r - i,$$

denn der Winkel MAN iſt gleich i. Daraus folgt aber

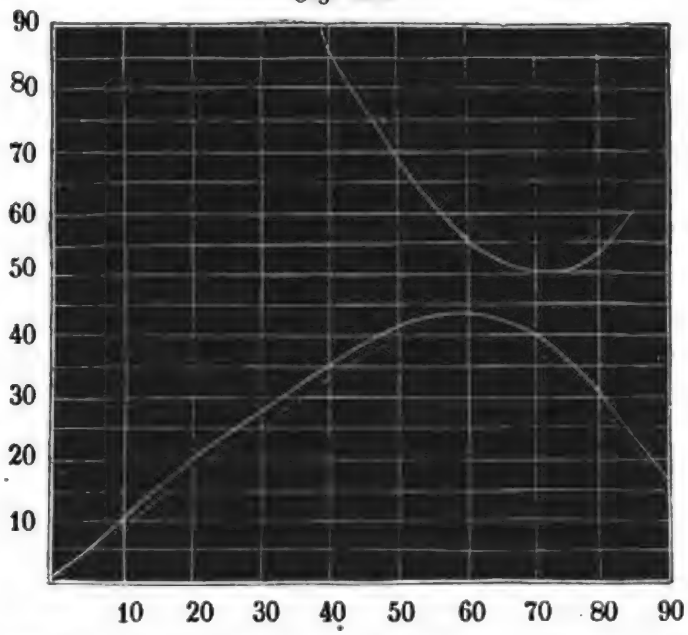
$$d = 4\,r - 2\,i \quad \ldots\ldots \quad 1).$$

Dieſer Werth von d zeigt, daß der Winkel der eintretenden und austretenden Sonnenſtrahlen mit der Größe des Einfallswinkels ſich ändert, denn von i hängt r und von beiden hängt d ab. Je nachdem alſo die unter ſich parallel eintretenden Sonnenſtrahlen in verſchiedenen Punkten den Regentropfen treffen, erleiden ſie auch nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung verſchiedene Ablenkungen. Der einfallende Strahl, deſſen Verlängerung durch den Mittelpunkt des Tropfens geht, erleidet gar keine Ablenkung, denn für dieſen Strahl iſt $i = o$, wenn aber $i = o$, ſo iſt auch r und d zu Null. Je mehr nun der Einfallspunkt A' nach A hinrückt, deſto größer wird i, und die ſtetige Veränderung von i hat auch eine ſtetige Veränderung von d zur Folge. Es iſt leicht, zu jedem i das zugehörige r und dann das zugehörige d nach Gl. 1) zu berechnen, wie es in folgender Tabelle für einige Werthe von i geſchehen iſt.

i	r	d
10^0	$7^0\ 30'$	10^0
20^0	$14^0\ 54'$	$19^0\ 36'$
30^0	$22^0\ 5'$	$28^0\ 20'$
40^0	$28^0\ 54'$	$35^0\ 36'$
50^0	$35^0\ 10'$	$40^0\ 40'$
60^0	$40^0\ 37'$	$42^0\ 28'$
70^0	$44^0\ 57'$	$39^0\ 48'$
80^0	$47^0\ 46'$	$31^0\ 4'$
90^0	$48^0\ 45'$	15^0.

Nach dieſer Tabelle iſt die ausgezogene der beiden unteren Kurven, Fig. 432, conſtruirt, welche das Verhältniß anſchaulich macht, in welchem

Fig. 432.



der Einfallswinkel i zur Ablenkung d ſteht. Die verſchiedenen Werthe von i ſind als Abſciſſen, die zugehörigen Werthe von d als Ordinaten aufgetragen. Man überſieht aus dieſer Figur ſehr deutlich, wie mit zunehmendem Werthe von i auch die Ablenkung wächſt, bis ſie ein Maximum erreicht, wenn i gegen 58—59° iſt. Wächſt i noch mehr, ſo nimmt die Ablenkung wieder ab.

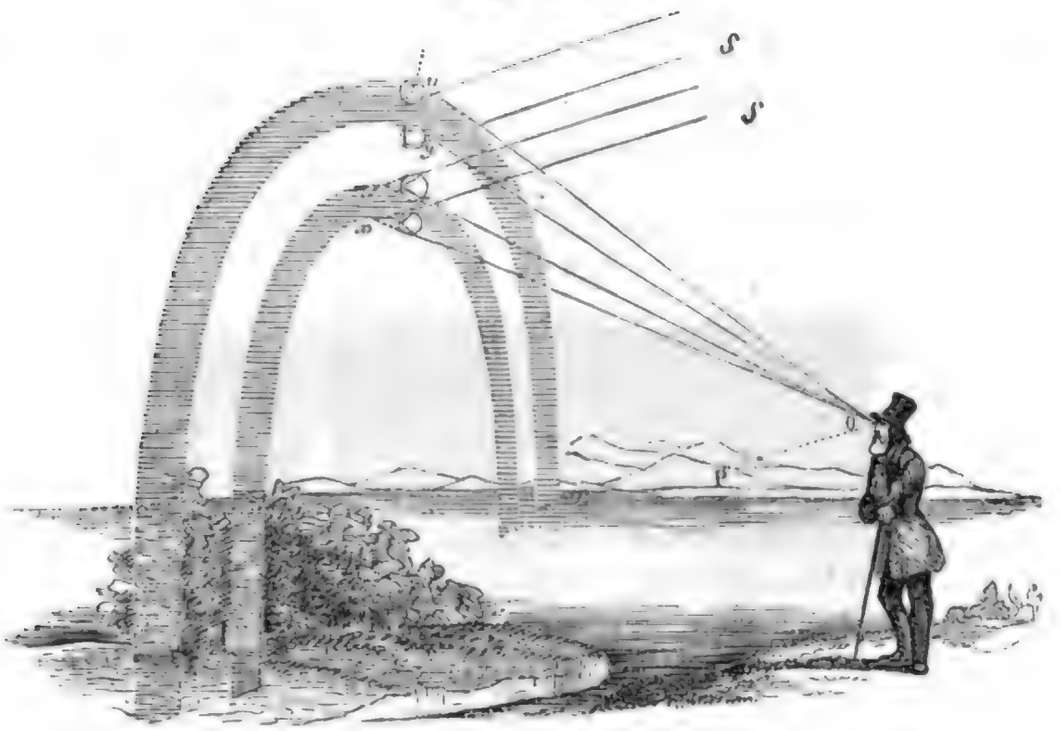
Aus dem eben Geſagten folgt nun unmittelbar, daß die parallel auf den Tropfen fallenden Sonnenſtrahlen, die wir bisher betrachtet haben, nach ihrem Austritte aus dem Tropfen divergiren. Es iſt begreiflich, daß durch dieſe Divergenz der aus dem Tropfen kommenden Strahlen die Stärke des Lichteindrucks, den ſie hervorbringen, ganz außerordentlich geſchwächt wird, namentlich wenn die Tropfen in einer nur etwas bedeutenden Entfernung vom Auge ſich befinden. Unter allen aus dem Tropfen nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung ins Auge kommenden Strahlen können demnach nur diejenigen einen merklichen Lichteindruck machen, für welche dieſe Divergenz ein Minimum iſt, oder, mit anderen Worten, nur diejenigen, welche ſehr nahe parallel austreten.

Suchen wir nun in der Kurve ABC, Fig. 432, diejenige Stelle, wo bei gleichmäßiger Veränderung der Abſciſſen i die Ablenkung ſich verhältnißmäßig am wenigſten ändert, ſo finden wir, daß dies der Fall iſt, wenn die Ablenkung ein Maximum iſt, denn an dieſer Stelle iſt die Kurve

faſt horizontal. Für alle Einfallswinkel i, welche ſelbſt einige Grade größer und kleiner ſind als 59°, iſt die Ablenkung faſt ganz dieſelbe, ſie beträgt ſehr nahe 42° 30′; eine ziemliche Menge parallel einfallender Sonnenſtrahlen verläßt alſo den Tropfen faſt in derſelben Richtung, nachdem ſie eine Ablenkung von ſehr nahe 42° 30′ erlitten haben; und dieſe Strahlen werden unter allen aus dem Tropfen kommenden allein einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können.

Denkt man ſich durch die Sonne und das Auge des Beobachters eine gerade Linie $o\,p$, Fig. 433, gezogen, und durch dieſelbe eine Vertikalebene

Fig. 433.



gelegt. Zieht man ferner durch o eine Linie $o\,v$, ſo daß der Winkel $p\,o\,v = 42°\,30'$, ſo werden nach dieſer Richtung hin ſich befindende Regentropfen nach einmaliger innerer Spiegelung wirkſame Strahlen ins Auge ſenden. Jedoch nicht allein in dieſer Richtung empfängt das Auge wirkſame Strahlen, ſondern, wie leicht begreiflich, von allen Regentropfen, die in der Kegeloberfläche liegen, die durch Umdrehung der Linie $o\,v$ um die Axe $o\,p$ entſteht; das Auge wird alſo einen lichten Kreis ſehen, deſſen Mittelpunkt auf der von der Sonne durch das Auge gezogenen Geraden liegt und deſſen Halbmeſſer unter einem Winkel von 42° 30′ erſcheint.

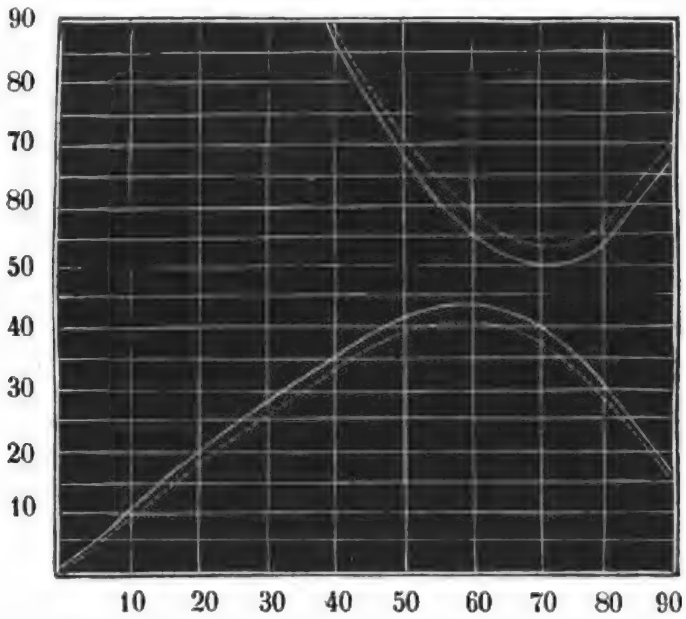
Bei der obigen Betrachtung wurde 1,33 als Brechungsexponent in Rechnung gebracht. Es iſt dies aber nur der Brechungsexponent der rothen Strahlen, das Auge ſieht alſo in der erwähnten Richtung einen rothen Kreis, der als ein rother Ring von 30′ Breite erſcheint, weil die Sonne nicht ein Punkt, ſondern eine Scheibe iſt, die den ſcheinbaren

Durchmeſſer 30′ hat. Für violette Strahlen iſt der Brechungsexponent 1,34, und daraus ergeben ſich folgende zuſammengehörige Werthe von i und d.

i	d	i	d
0	0	50°	39°
10°	9° 40′	60°	40° 28′
20°	18° 57′	70°	37° 28′
30°	27° 22′	80°	28° 28′
40°	34° 20′	90°	12° 18′.

Nach dieſen Zahlen iſt die unterſte Kurve, Fig. 434, conſtruirt. Das Maximum der Ablenkung, welches die violetten Strahlen nach einmaliger innerer Spiegelung im Tropfen erleiden, iſt demnach nahe 40° 30′; dies iſt aber auch die Richtung, in welcher die wirkſamen violetten Strahlen austreten, es wird alſo concentriſch mit dem rothen ein violetter Kreisbogen von geringerem Halbmeſſer ſichtbar ſeyn, welcher gleichfalls

Fig. 434.



eine Breite von 30′ hat. Zwiſchen dieſen äußerſten Bogen erſcheinen die der übrigen prismatiſchen Farben, und ſo bildet alſo gewiſſermaßen der Regenbogen ein zu einem kreisförmigen Bogen ausgedehntes Spectrum. Die ganze Breite des Regenbogens beträgt ungefähr 2°, da ja der Halbmeſſer des rothen Bogens um 2° größer iſt als der des violetten.

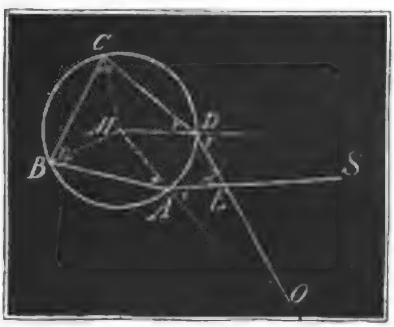
Was die Ausdehnung des farbigen Bogens betrifft, ſo hängt ſie offenbar von der Höhe der Sonne über dem Horizonte ab. Wenn die Sonne

eben untergeht, erſcheint der Regenbogen im Oſten, der Mittelpunkt des Bogens liegt dann gerade im Horizonte, weil die durch die Sonne und das Auge gezogene Linie eine horizontale iſt; wenn der Beobachter in der Ebene ſteht, ſo bildet der Regenbogen gerade einen Halbkreis, er kann aber mehr als einen Halbkreis überſehen, wenn er auf einer iſolirten Bergſpitze von geringer Breite ſteht. Bei Sonnenaufgang erſcheint der Regenbogen im Weſten. Je höher die Sonne ſteigt, deſto tiefer liegt der Mittelpunkt des farbigen Bogens unter dem Horizonte, deſto kleiner iſt alſo das dem Auge ſichtbare Bogenſtück. Wenn die Sonne $42^0\ 30'$ hoch ſteht, iſt für einen in der Ebene ſtehenden Beobachter gar kein Regenbogen mehr ſichtbar, weil alsdann der Gipfel deſſelben gerade in den Horizont, der ganze Bogen alſo unter den Horizont fallen würde. Von den Maſten der Schiffe ſieht man oft Regenbogen, welche einen ganzen Kreis bilden; ſolche ganz kreisförmige Regenbogen ſieht man auch oft an Waſſerfällen und Springbrunnen.

Außer dem eben beſprochenen Regenbogen ſieht man gewöhnlich noch einen zweiten größeren, mit dem erſteren concentriſchen, bei welchem die Ordnung der Farben die umgekehrte iſt; beim äußeren Regenbogen iſt nämlich das Roth innen, das Violet außen. Der äußere Regenbogen iſt weit weniger lichtſtark als der innere, er erſcheint weit blaſſer. Man hatte früher die irrige Anſicht, der zweite Regenbogen ſey gleichſam ein Spiegelbild des erſten. Die Entſtehung des äußeren Regenbogens beruht auf denſelben Principien wie die des inneren, er entſteht durch Sonnenſtrahlen, welche in den Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine zweimalige innere Reflexion erlitten haben.

In Fig. 435 iſt der Gang eines Lichtſtrahls dargeſtellt, welchen derſelbe im Regentropfen nimmt, um ihn nach zweimaliger innerer Spiegelung zu verlaſſen. SA iſt der einfallende Sonnenſtrahl, welcher nach AB gebrochen, dann in B und C geſpiegelt wird und bei D in der Richtung DO wieder austritt. In dieſem Falle ſchneiden ſich der einfallende und der austretende Strahl und bilden einen Winkel d mit einander, deſſen Größe veränderlich iſt, nachdem der einfallende Strahl den Tropfen an einer andern Stelle, alſo unter einem anderen Einfallswinl, trifftke. Suchen wir nun den Werth des Ablenkungswinkels d zu ermitteln.

Fig. 435.



Die Summe aller Eckwinkel des Fünfecks $ABCDE$ beträgt, wie dies bei jedem Fünfeck der Fall iſt, 6 rechte oder 540^0. Um den Winkel d zu

finden, haben wir alſo nur von 540° die Eckwinkel bei A, B, C und D abzuziehen; jeder der Eckwinkel bei B und C beträgt $2\,r$, zuſammen machen ſie alſo $4\,r$ aus; der Winkel bei D ſowohl als der bei A iſt aber gleich r + dem Winkel MDE, für den Winkel MDE können wir aber ſeinen Werth $180 - i$ ſetzen, folglich iſt der Winkel CDE gleich $r + 180 - i$, die beiden Eckwinkel bei A und D ſind alſo zuſammen $2\,r + 360 - 2\,i$; zieht man nun von 540° die beiden Eckwinkel bei B und C, alſo $4\,r$, und die beiden Eckwinkel bei A und D, alſo $2\,r + 360 - 2\,i$ ab, ſo kommt

$$d = 540 - 4\,r - (2\,r + 360 - 2\,i)$$

oder

$$d = 180^0 + 2\,i - 6\,r.$$

Nach dieſer Formel ergeben ſich folgende zuſammengehörige Werthe des Einfallswinkels von i und des Ablenkungswinkels d für violettes und rothes Licht.

	Ablenkungswinkel	
Einfallswinkel	für Roth	für Violett
0	180°	180°
40	86° 36′	88° 0′
60	56° 18′	58° 24′
70	50° 18′	53° 24′
80	43° 24′	56° 12′
90	68° 30′	70° 18′.

Wenn ein rechtwinklig einfallender Strahl, an der Rückwand des Regentropfens reflectirt, die Vorderfläche wieder trifft, ſo tritt er zum Theil in der Richtung wieder aus, in der er gekommen war, der Winkel des eintretenden und austretenden Strahls iſt für dieſen Fall einmaliger innerer Spiegelung gleich Null; zum Theil erleidet er aber an der Vorderwand eine zweite Reflexion und tritt dann in einer Richtung aus, welche die Verlängerung des einfallenden Strahls bildet, die Ablenkung iſt alsdann 180°. Trifft der einfallende Strahl nicht rechtwinklig auf den Tropfen, ſo nimmt die Totalablenkung nach zweimaliger innerer Spiegelung ab, wenn der Einfallswinkel wächſt. Für einen Einfallswinkel von ungefähr 71° iſt die Ablenkung ein Minimum, und zwar beträgt ſie für die rothen Strahlen ungefähr 50°, für violette nahe $53\frac{1}{2}^0$. Für noch größere Einfallswinkel nimmt die Ablenkung wieder ab.

Nach den Zahlen der letzten Tabelle ſind die beiden oberen Kurven der Fig. 434 conſtruirt, und zwar gilt die ausgezogene für die rothen, die punktirte für die violetten Strahlen. Man ſieht aus dem Anblick der Figur,

daß in der Nähe des Minimums der Ablenkung eine kleine Veränderung des Einfallswinkels keine bedeutende Veränderung in der Ablenkung hervorbringt, daß alſo in der Richtung der kleinſten Ablenkung ein Bündel ziemlich paralleler Strahlen austritt, und dieſe Strahlen ſind die einzigen unter allen, welche, den Tropfen nach zweimaliger innerer Spiegelung verlaſſend, einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können. Aus der für den erſten Regenbogen entwickelten Schlußweiſe ergiebt ſich, daß man unter den geeigneten Umſtänden einen rothen Bogen ſehen wird, deſſen Halbmeſſer unter einem Winkel von 50°, und einen violetten, deſſen Radius unter einem Winkel von $53\frac{1}{2}^0$ erſcheint. Die Breite des zweiten Regenbogens beträgt alſo ungefähr $3\frac{1}{2}^0$.

In Fig. 434 ſtellt der Höhenunterſchied der beiden concaven Gipfel der oberen Kurven die Breite des äußeren Regenbogens, die Höhendifferenz der gegen einander gekehrten Gipfel der beiden ausgezogenen Kurven die Breite des Zwiſchenraums zwiſchen den beiden Regenbogen dar, welche ungefähr $7\frac{1}{2}^0$ beträgt.

Der äußere Regenbogen iſt blaſſer, weil er durch Strahlen gebildet wird, welche eine zweimalige innere Spiegelung erlitten haben, da das Licht bei jeder Spiegelung eine Schwächung erleidet. Man würde noch einen dritten und einen vierten Regenbogen ſehen können, welche durch Strahlen gebildet werden, die eine 3malige und eine 4malige innere Spiegelung erlitten haben, wenn dieſe Strahlen nicht zu lichtſchwach wären.

Höfe und Nebenſonnen. Oft ſieht man, wenn der Himmel mit 220
einem leichten Wolkenſchleier überzogen iſt, dicht um die Sonne und den Mond farbige Ringe. Sehr häufig ſieht man dieſe Ringe nicht vollſtändig, ſondern nur ſtückweiſe. Wenn man die Mondhöfe häufiger beobachtet als die Sonnenhöfe, ſo liegt der Grund darin, daß das Licht der Sonne zu blendend iſt; man ſieht aber dieſe auch, ſobald man das Bild der Sonne in ruhigem Waſſer oder in einem auf der Rückſeite geſchwärzten Spiegel betrachtet.

Dieſe Höfe haben die größte Aehnlichkeit mit der Glorie, welche man um eine Kerzenflamme ſieht, wenn man ſie durch eine mit semen lycopodii beſtreute Glasplatte betrachtet (Bd. I. S. 501), und ſicherlich ſind die Höfe ebenſo wie dieſes Phänomen zu den Interferenzerſcheinungen zu zählen; die Dunſtbläschen vertreten die Stelle der feinen Staubtheilchen.

Bisweilen ſieht man auch noch zwei größere farbige Kreiſe um die Sonne und den Mond, welche mit den Höfen nicht zu verwechſeln ſind; der Halbmeſſer des kleineren dieſer hellen Ringe erſcheint unter einem Winkel von 22 bis 23°, der des größeren aber unter einem Winkel von 46 bis 47°; das Roth iſt bei denſelben nach innen gekehrt, der innere Rand iſt ſchärfer, der äußere mehr verſchwommen und weniger deutlich gefärbt. Selten

erſcheinen die beiden Kreiſe zu gleicher Zeit. Fig. 436 ſtellt die Erſcheinung dar, wie man ſie wohl am häufigſten zu beobachten die Gelegenheit hat; es iſt nämlich der kleinere Ring von 22 bis 23° Radius; er iſt durch einen horizontalen lichten Streifen durchſchnitten, welcher ſich oft bis zur Sonne ſelbſt erſtreckt. Da, wo dieſer Streifen den Lichtring durchſchneidet, iſt er am hellſten; dieſe hellen Stellen, welche man zu beiden Seiten der Sonne am äußeren Umfange des Ringes ſieht, ſind die Nebenſonnen; bisweilen erſcheint eine ſolche Nebenſonne auch vertikal über die Sonne im Gipfel des Ringes, oft erſcheint hier aber auch ein Berührungsbogen, wie er in Fig. 436 dargeſtellt iſt. Oft ſieht man die Nebenſonnen auch ohne die Ringe, oder die Ringe ohne die Nebenſonnen. Dieſe Ringe und die Nebenſonnen erſcheinen ebenfalls nie bei ganz heiterem Himmel, ſondern nur, wenn derſelbe mit einem Schleier überzogen iſt.

Die erwähnten Ringe hat ſchon Mariotte durch eine Brechung des Lichts in den in der Luft ſchwebenden Eisnadeln erklärt; wenn die Eisnadeln ſechsſeitige Säulen ſind, ſo bilden immer je zwei nicht parallele und

Fig. 436

nicht zuſammenſtoßende Seitenflächen einen Winkel von 60° mit einander, die Eisnadeln bilden alſo gewiſſermaßen gleichſeitige, dreiſeitige Prismen, für welche das Minimum der Ablenkung ungefähr 23° beträgt. Solche Strahlen nun, welche in den Eisnadeln das Minimum der Ablenkung er-

litten haben, ſind den wirkſamen Strahlen des Regenbogens analog, weil viele Strahlen ſehr nahe in derſelben Richtung austreten. Dieſe Hypotheſe erklärt alſo zugleich die Bildung des Ringes, ſeine Größe und die Anordnung der Farben.

Der Ring von 46° erklärt ſich durch die Annahme, daß die Axe der Prismen in der Weiſe ſchief ſteht, daß der rechte Winkel, welchen die Seitenflächen der Säule mit der Baſis bilden, der brechende Winkel des Prismas wird. Für ein Eisprisma, deſſen brechender Winkel 90° beträgt, iſt in der That das Minimum der Ablenkung 46°.

Den Nebenſonnenſtreifen erklärt man durch die Reflexion der Sonnenſtrahlen an den vertikalen Flächen der Eisnadeln; er iſt da am hellſten, wo er den Ring von 23° durchſchneidet, weil hier zwei Urſachen ſtärkerer Erleuchtung zuſammenwirken. Fraunhofer erklärt die Nebenſonnenſtreifen als Interferenzerſcheinung. Am vollſtändigſten iſt die Theorie der Höfe und Nebenſonnen von Galle behandelt worden (Pogg. Ann. Bd. XLIX).

Irrlichter nennt man gewöhnlich kleine Flämmchen, welche in ſumpfi- 221
gen Gegenden, Mooren, Kirchhöfen u. ſ. w., kurz an Orten, wo Fäulniß und Verweſung vor ſich gehen, nicht hoch über dem Boden zum Vorſchein kommen, eine hüpfende unruhige Bewegung zeigen und bald wieder verſchwinden. Während man gewöhnlich von den Irrlichtern als von einer ganz bekannten und erklärten Erſcheinung redet, ſo herrſcht doch über dieſes Phänomen noch große Ungewißheit, da es durchaus noch nicht genügend erklärt, ja das Thatſächliche ſelbſt noch nicht genügend ermittelt iſt, was wohl begreiflich iſt, wenn man bedenkt, daß die meiſten Perſonen, welche Irrlichter ſahen, nicht im Stande waren genau zu beobachten und das Geſchehene vorurtheilsfrei zu erzählen.

Zu den wenigen ganz zuverläſſigen Berichten über Irrlichter gehört derjenige, welchen Beſſel bekannt gemacht hat (Pogg. Ann. XLIV. Bd.). Dieſer Gelehrte beobachtete das Phänomen in der Gegend der großen Moore des Herzogthums Bremen. Er beſchreibt die Irrlichter als Flämmchen, welche über einem an vielen Stellen mit ſtehendem Waſſer bedeckten Grunde entſtanden und, nachdem ſie einige Zeit geleuchtet hatten, wieder verſchwanden; ſie waren von bläulicher Farbe, wie die Flamme des Waſſerſtoffgaſes und ſehr lichtſchwach, ſo daß der Grund, über welchem ein einzelnes Flämmchen brannte, nicht merklich erleuchtet war, oder ihre oft große Zahl eine merkliche Helligkeit verbreitet hätte. Oft blieben die Flämmchen in unveränderter Stellung; oft nahmen ſie eine Bewegung in horizontaler Richtung an, welche gewöhnlich zahlreiche Gruppen derſelben gleichzeitig erfuhren.

Volta meinte, die Irrlichter beſtänden aus Sumpfgas (Kohlenwaſſerſtoffgas), welches durch einen elektriſchen Funken entzündet würde. Aber

woher soll der elektrische Funken kommen? Andere meinen, es sey Phosphorwasserstoffgas, welches sich entzündet, sobald es mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommt; alsdann aber würde man einen momentanen von einer Verpuffung begleiteten Lichtblitz und nicht ein länger anhaltendes mattes Licht beobachten. Die wahrscheinlichste Ansicht ist noch die, daß die Irrlichter durch ein phosphorhaltiges Wasserstoffgas erzeugt würden, welches nicht eigentlich als Flamme verbrennt, sondern nur schwach phosphorescirt.

222 **Das Zodiakallicht.** Um die Zeit der Tag- und Nachtgleichen erscheint manchmal kurz nach Sonnenuntergang am westlichen Horizonte ein schwacher Lichtstreifen, meist noch matter als das Licht der Milchstraße, welcher die Form einer schief auf dem Horizonte stehenden Pyramide hat.

Die Basis dieses unten breiter werdenden Lichtkegels erscheint ungefähr da, wo die Sonne untergegangen ist; die Axe desselben ist gegen die Stelle hin gerichtet, an welcher sich eben die schon untergegangene Sonne befindet; sie fällt fast ganz mit der Ebene des Sonnenäquators zusammen, der ganze Streifen fällt also am Himmel in den Thierkreis, da die Ebene des Sonnenäquators einen Winkel von 7° mit der Ebene der Ekliptik macht.

In unsern Gegenden bildet die Axe des Lichtkegels des Abends einen Winkel von ungefähr 64° mit dem Horizonte. Auch des Morgens ist es schon beobachtet worden, allein weit schwächer als des Abends.

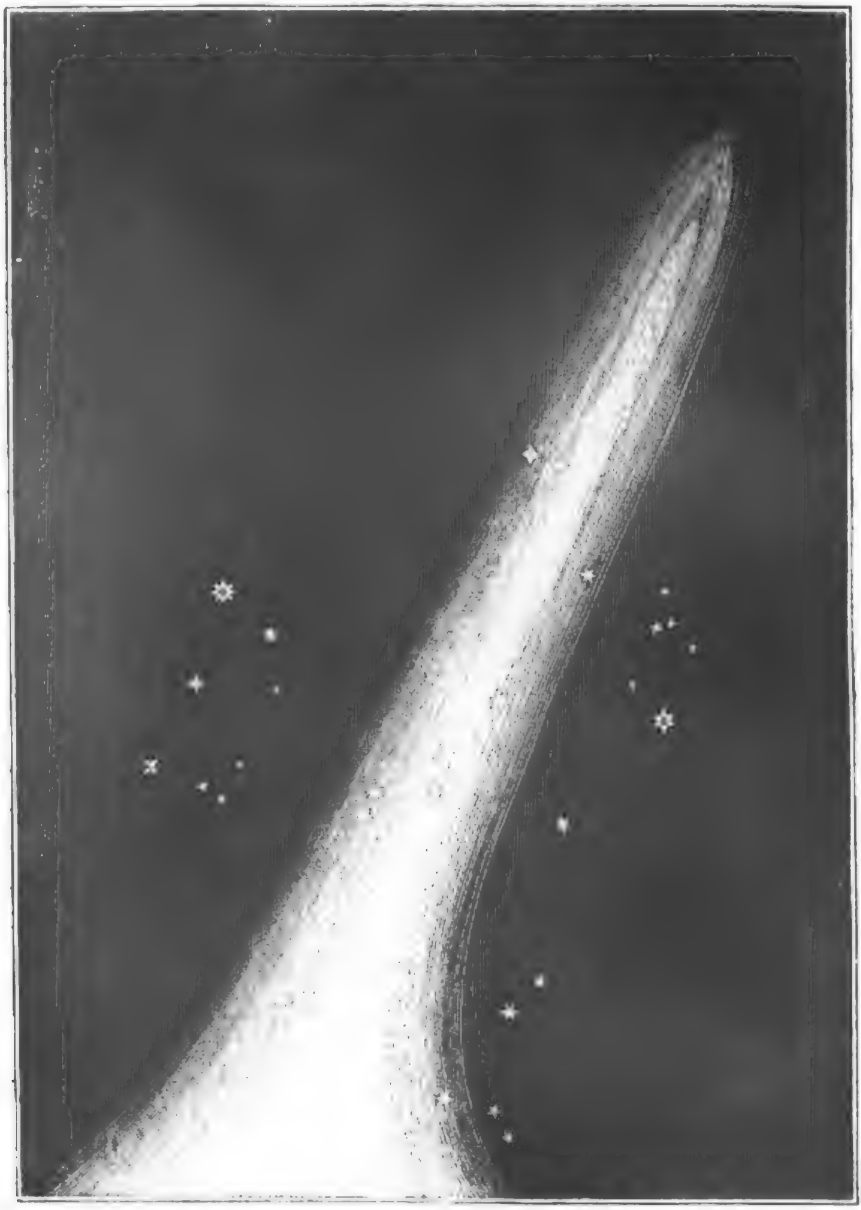
Da die Axe des Zodiakallichtes mit dem Thierkreise zusammenfällt, so ist klar, daß die Neigung derselben gegen den Horizont nicht an allen Orten der Erde dieselbe seyn kann; in der That erscheint es um so weniger geneigt, je mehr man sich dem Aequator nähert; innerhalb der Tropen, wo es weit häufiger als in höhern Breiten und weit leuchtender und schöner beobachtet wird, so daß es Humboldt einen beständigen Schmuck der Tropennächte nennt, steht es fast senkrecht auf dem Horizonte. Auf der nördlichen Halbkugel erscheint dem Beobachter die Spitze nach Süden gerichtet, also links von der Basis, auf der südlichen Halbkugel erscheint aber die ganze Pyramide nach Norden, also nach der rechten Seite des Beobachters hin geneigt.

Da das Zodiakallicht in unsern Gegenden zu den seltenern Erscheinungen gehört, so ist eine Abbildung durchaus nöthig, und eine klare Vorstellung dieser eigenthümlichen Erscheinung zu geben. Fig. 437 stellt eine von Horner mitgetheilte Zeichnung eines Zodiakallichtes dar, welches dieser Gelehrte zu Sta. Cruz an der Küste von Brasilien ohngefähr 27° S. B. beobachtete.

Was die Erklärung des Zodiakallichtes betrifft, so sind bis jetzt zweierlei Meinungen darüber aufgestellt worden; nach Mairans Erklärung ist das Zodiakallicht die Atmosphäre der Sonne, welche entweder selbst leuchtend ist, oder von der Sonne erleuchtet wird; diese Atmosphäre ist wegen des

ſchnellen Umſchwungs der Sonne ſo ſtark abgeplattet, daß ſie als ein in der Richtung des Sonnenäquators liegender Streifen erſcheint; aus den Geſetzen der Gravitation läßt ſich aber darthun, daß eine etwaige Sonnen-

Fig. 437.



atmoſphäre ſich nicht bis zur Merkursbahn erſtrecken kann; weit wahrſcheinlicher iſt dagegen die andere Anſicht, nach welcher die Erſcheinung des Zodiakallichts einem um die Sonne herumliegenden Nebelringe zuzuſchreiben iſt.

Sternſchnuppen, Feuerkugeln und Meteorſteine. Eine allgemein 223

bekannte Erscheinung, welche deshalb auch keine weitere Beschreibung bedarf, sind die Sternschnuppen. Durch correspondirende Beobachtungen hat man ermittelt, daß die Höhe der Sternschnuppen 34 bis 35 Meilen beträgt, und daß sie sich mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 8 Meilen in der Sekunde bewegen.

Eine höchst merkwürdige Erscheinung sind die periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenschwärme, welche man in der Zeit vom 12—14 November und am 10. August (dem Feste des heiligen Laurentius) beobachtet; das letzte Phänomen wird in England schon in einem alten Kirchenkalender, unter dem Namen der feurigen Thränen des heiligen Laurentius, als eine wiederkehrende Erscheinung erwähnt. Einer der bedeutendsten Sternschnuppenschwärme wurde den 12—13. November 1833 in Nordamerika beobachtet, wo die Sternschnuppen fast wie Schneeflocken zusammengedrängt erschienen, so daß innerhalb 9 Stunden 240000 fielen.

Die Feuerkugeln scheinen mit den Sternschnuppen gleichen Ursprungs und gleicher Natur zu seyn und sich nur durch die Größe der Erscheinung von einander zu unterscheiden. Bei den großen Sternschnuppenschwärmen sah man Feuerkugeln unter den Sternschnuppen.

Die Feuerkugeln zerplatzen unter großem Getöse und lassen dann Steinmassen herabfallen, welche unter dem Namen die Meteorsteine oder die Aërolithen bekannt sind. Auch bei Tage hat man solche Meteorsteine aus kleinen graulichen Wolken ebenfalls unter starkem Getöse herabfallen sehen.

Die frisch gefallenen Meteorsteine sind noch heiß und in Folge der Geschwindigkeit des Falles mehr oder weniger tief in den Boden eingedrungen.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts war man sehr geneigt das Herabfallen von Steinmassen aus der Luft für Mährchen zu erklären; seitdem aber haben sich mehrere Meteorsteinfälle ereignet, welche von mehreren Personen beobachtet und durch sachkundige Männer gehörig constatirt wurden. Dahin gehört besonders der Meteorsteinfall am 26. April 1803 bei Aigle im Departement de l'Orne, welchen Biot untersuchte, und der am 22. Mai 1808 zu Stannern in Mähren. Am 13. Nov. 1835 (also zur Zeit der Sternschnuppenperiode) wurde im Departement Ain durch einen Aërolithen ein Haus angezündet.

Die Meteorsteine haben eine eigenthümliche Physiognomie, wodurch sie sich von allen irdischen Fossilien unterscheiden, demnach aber sind sie unter einander wieder so verschieden, daß Chladni, welcher sich soviel mit diesem Gegenstande beschäftigte, es für schwierig hielt, einen allgemeinen Charakter anzugeben; besonders charakteristisch ist aber doch wohl der Gehalt an gediegenem Eisen, und eine pechartig glänzende, zuweilen geäderte Rinde,

welche faſt nie fehlt. Eine weitere Beſchreibung würde uns zu tief in mineralogiſche Details führen.

Man hat an verſchiedenen Orten Steinmaſſen auf dem Boden gefunden, welche den Gebirgsſyſtemen jener Gegenden ganz fremd ſind, aber mit notoriſchen Meteorſteinen die größte Aehnlichkeit haben, und iſt deshalb berechtigt auch dieſe für Aërolithe zu halten.

Die Maſſe der Meteorſteine iſt oft ſehr groß.

Eines der Bruchſtücke, welche zu Aigle im Jahre 1803 fielen, wog 17 Pfd. Im Jahre 1751 fiel bei Hradſchma im Agramer Comitat ein 71 Pfd. ſchwerer Meteorſtein. Eine im Jahre 1814 zu Lenarto in Ungarn aufgefundene Meteorſteinmaſſe wog 194 Pfd. Eine in Sibirien aufgefundene von Pallas beſchriebene Maſſe von Meteoreiſen wog 1400 Pfd., in Mexico fand man ſolche, welche 300 bis 400 Centner wogen.

Es iſt kaum mehr zu bezweifeln, daß die Sternſchnuppen, Feuerkugeln und Meteorſteine kosmiſchen Urſprungs, daß ſie höchſt wahrſcheinlich Maſſen ſind, welche wie die Planeten um die Sonne kreiſen und, in die Anziehungsſphäre der Erde gerathen, herabfallen. Die Feuer- und Lichterſcheinung erklärt ſich am einfachſten durch die Annahme, daß dieſe kleinen Weltkörper mit einer Atmoſphäre brennbarer Gaſe umgeben ſind, welche ſich beim Eintritte in die ſauerſtoffhaltige Atmoſphäre der Erde entzündet. Wenn man annimmt, daß außer unzähligen einzeln um die Sonne kreiſenden Maſſen der Art ganze Schwärme derſelben einen Ring um die Sonne bilden, daß die Ebene eines ſolchen Ringes an einer beſtimmten Stelle die Erdbahn ſchneidet, ſo erklären ſich dadurch die periodiſchen Sternſchnuppenfälle.

Sechstes Kapitel.

Von der atmosphärischen Elektricität.

224 **Erste Entdeckung der atmosphärischen Elektricität.** Otto von Guericke, der berühmte Erfinder der Luftpumpe, war der Erste, welcher eine elektrische Lichterscheinung beobachtete. Wall beobachtete ungefähr zu derselben Zeit einen lebhafteren Funken und ein stärkeres Geräusch, als er einen großen Harzcylinder rieb, und merkwürdiger Weise wurden die ersten durch Menschenhände hervorgebrachten elektrischen Funken auch sogleich mit dem Blitze verglichen. Dieser Funken und dieses Knacken, sagt Wall in seiner Abhandlung (Philos. transactions), scheinen gewissermaßen den Blitz und den Donner darzustellen. Die Analogie war überraschend; um aber ihre Wahrheit zu beweisen, um in einer so kleinen Erscheinung die Ursache und die Gesetze eines der großartigsten Phänomene der Natur zu erkennen, bedurfte es noch directer Beweise. Während man in Europa darüber hin und her redete, ob wohl der Blitz wirklich ein elektrisches Phänomen sey, wurde in Amerika der experimentelle Beweis geliefert. Nachdem Franklin mehrere elektrische Entdeckungen, besonders über die Leidner Flasche und das Vermögen der Spitzen gemacht hatte, kam er auf den glücklichen Gedanken, die Elektricität in den Gewitterwolken selbst aufzusuchen; er schloß nämlich, daß Metallspitzen, auf hohen Gebäuden aufgestellt, die Elektricität der Wolken auffangen müßten. Mit Ungeduld erwartete er die Vollendung eines Glockenthurmes, welcher damals in Philadelphia aufgeführt werden sollte; endlich aber müde zu warten, nahm er zu einem anderen Mittel seine Zuflucht, welches noch sicherere Resultate geben mußte. Da es ja nur darauf ankam, einen Körper hoch genug in die Luft zu erheben, so dachte Franklin, daß ein Drachen, ein Spielwerk der Kinder, ihm eben so gut dienen könnte wie der höchste Thurm. Er benutzte das erste Gewitter, um den Versuch zu machen; nur von einer Person, seinem Sohne, begleitet, weil er fürchtete, sich lächerlich zu machen, wenn der Versuch mißglückte, begab er sich ins Freie und ließ den Drachen steigen. Eine Wolke, welche viel versprach, zog vorüber, ohne irgend eine Wirkung hervorgebracht zu haben; andere zogen vorüber, er bemerkte keinen Funken, kein Anzeichen von Elektricität; endlich fingen die Fasern der Schnur an sich aufzustellen,

und es ließ sich ein Geräusch hören. Dadurch ermuthigt, hielt Franklin den Finger gegen das Ende der Schnur, und siehe da, ein Funken sprang über, dem bald noch mehrere andere folgten.

Franklin hatte seinen Versuch im Juni 1752 angestellt; er wurde überall mit demselben Erfolge wiederholt. De Romas zu Nerac war, durch den ersten Gedanken Franklin's geleitet, ebenfalls auf die Idee gekommen, einen Drachen statt der hochgestellten Spitzen anzuwenden. Ohne von Franklin's Resultaten Kunde zu haben, erhielt er im Juni 1753 sehr kräftige Zeichen von Elektricität, weil er die glückliche Idee hatte, in der Schnur ihrer ganzen Länge nach einen feinen Metalldraht anzubringen (Mem. des Savans étrangers t. II.). Im Jahre 1757 wiederholte De Romas seine Versuche und erhielt Funken von überraschender Größe. »Man denke sich,« sagt er, »Feuerstreifen von 9 bis 10 Fuß Länge und 1 Zoll Dicke, von einem Krachen begleitet, welches ebenso stark, ja stärker ist als ein Pistolenschuß. In weniger als einer Stunde erhielt ich zum mindesten 30 solcher Funken, tausend andere nicht zu zählen, welche 7 und weniger Fuß lang waren (Mem. des savans étrangers t. VI.)«.

Aller Vorsichtsmaßregeln ungeachtet, welche dieser geschickte Experimentator nahm, wurde er einmal durch die Heftigkeit des Schlages niedergeworfen.

Diese Versuche beweisen vollständig, daß der Blitz nur ein elektrischer Funken ist.

Elektricität während der Gewitter. Wenn man den elektrischen 225
Zustand der Wolken untersucht, welche nach und nach über dem Drachen hinziehen, so erkennt man, daß sie bald mit positiver oder negativer Elektricität geladen sind, bald sich aber auch im natürlichen Zustande befinden. Obgleich wir über die Vertheilung der Elektricität in den Wolken nichts wissen, so ist doch wohl die Anziehung und Abstoßung der ungleich oder gleich elektrisirten Wolken die Ursache der außergewöhnlichen Bewegungen, welche man während der Gewitter am Himmel beobachtet. Während dieser allgemeinen Bewegung der Atmosphäre sieht man Blitze den Himmel durchzucken und hört den Donner rollen. Diese beiden Erscheinungen wollen wir nun näher betrachten.

Manchmal sieht man den Blitz aus einer Wolke hervorbrechen und den Himmel weithin durchfurchen. Wenn man von hohen Bergen herab diese Erscheinung zu seinen Füßen beobachtet, so kann man ihre Ausdehnung besser schätzen; alle Beobachter stimmen darin überein, daß sie unter solchen Umständen Blitze gesehen haben, welche wenigstens eine Meile lang waren. Man weiß auch, daß aus derselben Wolke nach einander mehrere Blitze hervorsprühen. Endlich ist bekannt, daß die Blitze mei-

ſtens einen Zickzack bilden; dieſe Form iſt dem Blitz und dem elektriſchen Funken gemein.

Die Dampfbläschen, welche die Wolken bilden, ſind nicht ſo vollkommene Leiter als die Metalle, und ohne die Geſetze des Gleichgewichts und der Vertheilung der Elektricität in unvollkommenen Leitern zu kennen, iſt es doch klar, daß ſie ſich nicht auf einmal ſo vollſtändig entladen, daß ſie durch einen einzigen Funken in den natürlichen Zuſtand zurückgeführt werden können; ſomit erklärt es ſich, daß aus einer Wolke mehrere Blitze hervorſpringen können.

Die Länge des Blitzes ſcheint auch eine Folge der unvollkommenen Leitungsfähigkeit der Wolken und der Beweglichkeit der Theilchen zu ſeyn, aus denen ſie beſtehen. Von dem Conductor der beſten Elektriſirmaſchine kann man durch trockene Luft hindurch Funken von 1 Meter Länge erhalten; die Funken werden aber noch länger, wenn man ſie über Stoffe von Wolle oder Seide ſchlagen läßt, welche mit etwas Staub beſtreut ſind; ſo müßte man auch durch einen Nebel hindurch längere Funken erhalten, wenn er nicht zu ſehr die Spannung der Elektricität verminderte. Um die Länge des Blitzes zu erklären, muß man demnach wohl annehmen, daß auf dem Wege, welchen der Blitz nimmt, die Dampftheilchen ſchon durch Vertheilung elektriſirt ſind, und daß endlich, wenn der Blitz erſcheint, ſich das geſtörte Gleichgewicht von Schicht zu Schicht wieder herſtellt, daß gewiſſermaßen nur Funken von Theilchen zu Theilchen überſpringen, daß aber die elektriſche Flüſſigkeit nicht den ganzen Weg zwiſchen den weit entfernten Wolken durchläuft.

Der Donner iſt nicht ſchwerer zu erklären, wie das Geräuſch eines kleinen elektriſchen Funkens, er entſteht durch die Vibrationen der gewaltſam erſchütterten Luft. Man ſieht das Licht gleichzeitig auf der ganzen Bahn des Blitzes, und auf der ganzen Strecke entſteht auch gleichzeitig der Knall; da ſich aber der Schall langſamer verbreitet als das Licht, da er in einer Secunde nur 340 Meter zurücklegt, ſo ſieht man den Blitz eher als man den Donner hört; ein Beobachter, welcher ſich nahe an dem einen Ende der Bahn des Blitzes befindet, wird den in allen Punkten gleichzeitig entſtehenden Ton nicht gleichzeitig hören. Nehmen wir an, der Blitz ſey 3400 Meter lang und der Beobachter befinde ſich in der Verlängernng ſeiner Bahn, ſo wird der Schall von dem entfernteren Ende des Blitzes 10 Sekunden ſpäter ankommen als von dem zunächſt gelegenen Ende. Da demnach der Schall von den verſchiedenen Stellen des Blitzes nur nach und nach zum Ohre des Beobachters gelangt, ſo hört er alſo nicht einen momentanen Knall, ſondern ein, je nach der Länge des Blitzes und ſeiner Stellung gegen die Bahn deſſelben, länger oder kürzer dauern-

des Rollen des Donners, welches wohl noch durch ein Echo in den Wolken verstärkt wird.

Nicht allein bei Gewitterwolken, sondern auch bei heiterem Himmel kann man mit Hülfe guter Elektroskope die Existenz einer elektrischen Spannung in der Atmosphäre nachweisen.

Ueber den Ursprung der atmosphärischen Elektricität wissen wir so gut wie nichts, obgleich über diesen Gegenstand schon gewaltig viel geschrieben worden ist. Einige meinen, daß die Elektricität der Gewitterwolken durch eine rasche Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes entstehe, daß also die Elektricität eine Folge der schnellen Bildung dichter Wolken sey. — Nach den Versuchen Pouillet's wird durch die Verdunstung des Wassers, welches bald mehr, bald weniger fremde Substanzen gelöst enthält, durch jede Verbrennung, ja selbst durch die Vegetation Elektricität entwickelt, und es ist wahrscheinlich, daß wenigstens die Verdunstung eine Quelle der atmosphärischen Elektricität ist.

Die Schwierigkeiten, welche sich einer genügenden Erklärung der atmosphärischen Elektricität entgegenstellen, sind wohl besonders darin zu suchen, daß wir wohl das Verhalten fester Körper gegen die Elektricität, aber nicht das der gasförmigen Körper, der Dämpfe und der Wolken kennen; auch ist es schwer, hierüber entscheidende Versuche anzustellen, weil alle elektrischen Erscheinungen, die wir im Kleinen an Gasen und Dämpfen etwa beobachten könnten, zu sehr durch die Nähe fester, bald mehr, bald weniger leitender Körper modificirt sind, und man deshalb nicht mit Sicherheit auf die Bildung und Vertheilung der Elektricität in höheren Luftregionen schließen kann.

Wirkungen des Blitzes auf der Erde. Denken wir uns, daß eine 226
Gewitterwolke 2000 bis 6000 Meter hoch über dem Meere oder über einem großen See schwebe; nehmen wir z. B. an, sie sey positiv elektrisch, so wird sie vertheilend wirken, die positive Elektricität im Wasser zurückgestoßen, die negative aber an der Oberfläche des Wassers angehäuft; diese Anhäufung kann so bedeutend seyn, daß sie eine merkliche Erhebung des Wassers bewirkt, es wird sich eine große Woge, ein Wasserberg bilden können, welcher so lange bleibt, als dieser elektrische Zustand dauert, der auf dreierlei Weise endigen kann. 1) Wenn sich die Elektricität der Wolke allmälig verliert, ohne daß ein Entladungsschlag erfolgt, so wird sich auch der natürlich-elektrische Zustand des Wassers allmälig wieder herstellen. 2) Wenn ein Blitz zwischen der Gewitterwolke und einer andern, oder zwischen der Wolke und einem entfernteren Orte der Erde überschlägt, wenn also die Wolke plötzlich entladen wird, so muß die an der Oberfläche des Wasserberges angehäufte Elektricität auch rasch wieder

ab=, die bisher abgestoßene rasch wieder zuströmen, es findet eine plötzliche Ausgleichung, ein Rückschlag Statt. 3) Wenn die Gewitterwolke sich nahe genug befindet und wenn sie stark genug mit Elektricität geladen ist, so schlägt der Blitz über. Dieser directe Schlag bringt in der Regel eine bedeutendere Bewegung, ein stärkeres Aufwallen des Wassers hervor als der Rückschlag. Ein solcher Schlag findet nicht ohne mächtige mechanische Wirkung auf die ponderabeln Elemente Statt.

Betrachten wir nun die Wirkungen der Gewitterwolken auf dem Lande.

Eine allmälige Zerlegung und Wiedervereinigung der Elektricität bringt keine sichtbaren Wirkungen hervor, es scheint jedoch, daß solche Störungen des elektrischen Gleichgewichts durch organische Wesen, und namentlich durch nervenkranke Personen, empfunden werden können.

Der Rückschlag ist stets weniger heftig als der directe; es giebt kein Beispiel, daß er eine Entzündung veranlaßt habe, dagegen fehlt es nicht an Beispielen, daß Menschen und Thiere durch den Rückschlag getödtet worden sind; man findet an ihnen in diesem Falle durchaus keine gebrochenen Glieder, keine Wunden und keine Brandspuren.

Die furchtbarsten Wirkungen bringt der directe Schlag hervor. Wenn der Blitz einschlägt, so bezeichnet er die Stelle, wo er den Boden trifft, durch ein oder mehrere, bald mehr, bald minder tiefe Löcher.

Alles, was sich über die Ebene erhebt, ist vorzugsweise dem Blitzschlage ausgesetzt; daher kommt es, daß so oft Thiere mitten in der Ebene erschlagen werden; unter sonst gleichen Umständen ist man jedoch auf einem nichtleitenden Boden sicherer als auf einem gutleitenden.

Bäume sind schon durch Säfte, welche in ihnen circuliren, gute Leiter; wenn eine Gewitterwolke über ihnen hinzieht, so findet in den Bäumen eine starke Anhäufung von Elektricität Statt, und deshalb sagt man mit Recht, daß Bäume den Blitz anziehen; man darf deshalb während eines Gewitters unter Bäumen, namentlich unter einsam stehenden Bäumen, ja selbst unter einsam in der Ebene stehenden Sträuchen keinen Schutz suchen.

Gebäude sind in der Regel aus Metall, Steinen und Holz zusammengesetzt. Wegen der ungleichen Leitungsfähigkeit dieser Substanzen ist auch die Wirkung der Gewitterwolken auf dieselben sehr verschieden. Wenn der Blitz einschlägt, so trifft er vorzugsweise die besseren Leiter, mögen sie nun frei oder durch schlechtere Leiter eingehüllt seyn; die vertheilende Kraft der atmosphärischen Elektricität wirkt auf den in die Wand eingeschlagenen Nagel eben so gut, wie auf die frei in die Luft ragende Windfahne.

Die mechanischen Wirkungen des Blitzes sind in der Regel sehr heftig. Wenn der Blitz in ein Zimmer einschlägt, so werden die Mö=

bel umgestürzt und zertrümmert, Metallstücke werden herausgerissen und fortgeschleudert. Bäume werden vom Blitz gespalten und zersplittert, gewöhnlich aber kann man vom Gipfel bis zum Boden eine mehrere Centimeter breite und tiefe Furche verfolgen, die abgeschälte Rinde und die ausgerissenen Spähne findet man weit weggeschleudert, und am Fuße des Baumes sieht man oft ein Loch, durch welches das elektrische Fluidum sich in den Boden verbreitete.

Die physikalischen Wirkungen des Blitzes beweisen eine mehr oder minder bedeutende Temperaturerhöhung. Wenn der Blitz ein Strohdach, trocknes Holz, ja grüne Bäume trifft, so findet eine Verkohlung, meistens sogar eine Entzündung Statt; bei Bäumen findet man jedoch seltner Spuren von Verkohlung. Metalle werden durch den Blitz stark erhitzt, geschmolzen oder verflüchtigt. Wiederholte Blitzschläge bringen auf hohen Bergen sichtbare Spuren von Schmelzung hervor; Sauſſure bemerkte sie auf dem Gipfel des Montblanc in Hornblendeschiefer, Ramond auf dem Gipfel des Montperdu in Glimmerschiefer und auf dem Puy de Dome in Porphyr; endlich sahen Humboldt und Bonpland auf dem Gipfel des Vulkans von Toluca auf einer Ausdehnung von mehr als zwei Quadratfuß hin die Oberfläche der Felsen verglast, an einigen Stellen fanden sie sogar Löcher, welche innen mit einer glasigen Kruste überzogen waren.

Ein interessantes Beispiel von Schmelzung durch den Blitz erzählt uns Withering (Phil. transact. 1790). Am 3. September 1789 schlug der Blitz in eine Eiche im Park des Grafen von Aylesford ein und tödtete einen Menschen, welcher unter diesem Baume Schutz gesucht hatte. Der Stock, welchen der Unglückliche trug, scheint besonders den Blitz geleitet zu haben, weil sich da, wo der Stock auf dem Boden aufgestützt war, ein Loch von 5 Zoll Tiefe und 2½ Zoll Durchmesser fand. Das Loch wurde alsbald von Withering untersucht, und es fanden sich in demselben nur einige verbrannte Wurzelfasern. Der Lord Aylesford wollte nun an dieser Stelle eine Pyramide mit einer Inschrift errichten lassen, welche davor warnen sollte, bei Gewittern unter Bäumen Schutz zu suchen. Beim Graben des Fundamentes fand man den Boden in der Richtung des Loches bis zu einer Tiefe von 10 Zoll geschwärzt, und 2 Zoll tiefer fand man in dem quarzigen Boden deutliche Spuren von Schmelzung. Unter andern fand sich ein Quarzstück, dessen Kanten und Ecken vollkommen geschmolzen waren, und eine durch die Hitze zusammengebackene Sandmasse, in welcher sich eine Höhlung befand, in der die Schmelzung so vollkommen war, daß die geschmolzene Quarzmasse an den Seiten der Höhlung heruntergeflossen war.

Endlich müssen hier noch die sogenannten Blitzröhren erwähnt wer-

den, welche man in den sandigen Ebenen von Schlesien, von Ostpreußen, von Cumberland und in Brasilien, nahe bei Bahia, findet. Diese Röhren sind oft 8 bis 10 Meter lang, ihr äußerer Durchmesser beträgt gewöhnlich 5 Centimeter, ihr innerer einige Millimeter; die innere Fläche ist vollkommen verglast, die äußere ist rauh, sie sieht aus wie eine mit zusammengebackenen Sandkörnern bedeckte Kruste; man findet sie bald in vertikaler, bald in schräger Richtung im Sande; am unteren Ende verzweigen sie sich gewöhnlich und werden nach und nach spitzer. Fiedler, welcher über diesen Gegenstand viele interessante Beobachtungen gemacht hat (Gilbert's Annal. LV. u. LXI.), bemerkt, daß sich in einer gewissen Tiefe unter der Oberfläche der Sandebenen Wassermulden befinden, und er betrachtet die Blitzröhren dadurch entstanden, daß der Blitz durch den Sand nach dem Wasser durchschlägt.

Um einen Begriff von den fürchterlichen Wirkungen des Blitzes zu geben, mag hier eine Beschreibung des Unglücks folgen, welches sich am 11. Juli 1819 zu Chateauneuf-les-Moustiers ereignete, wie es durch den Generalvicar Trincalye von Digne an die Akademie der Wissenschaften berichtet wurde.

Im Arrondissement von Digne, im südöstlichen Theile des Departements der Niederalpen, an die kleine Stadt Moustiers gränzend, welche durch ihre Fayencemanufakturen bekannt ist, liegt das Dorf Chateauneuf. Es ist auf der Höhe und an dem Abhange eines der Vorgebirge der Alpen gelegen, welche das Amphitheater von Moustiers bilden; es besteht aus 14 Häusern, welche um das Pfarrhaus und um die Kirche herum liegen; außerdem liegen noch 105 Wohnungen als Höfe zerstreut auf dem Abhange des Gebirges.

Am Sonntage, den 11. Juli 1819 ging der Pfarrer von Moustiers als bischöflicher Commissair nach Chateauneuf, um daselbst einen neuen Rector zu installiren. Gegen 10½ Uhr begab man sich in Procession aus dem Pfarrhause in die Kirche; das Wetter war schön, man bemerkte nur einige dunkle Wolken. Der neue Rector begann das Hochamt zu halten.

Ein junger Mensch von 18 Jahren, welcher den Pfarrer von Moustiers begleitet hatte, sang eben die Epistel, als man drei Donnerschläge hörte, welche dem Blitze rasch folgten; das Missale wurde ihm aus den Händen geschleudert und zerrissen; er selbst fühlte sich am Körper durch die Flamme gleichsam gepackt, die ihn auch am Halse ergriff. Durch eine unwillkürliche Bewegung schloß der junge Mensch den Mund, nachdem er zuerst entsetzlich geschrieen hatte, er wurde niedergeworfen und auf die in der Kirche versammelten Personen gewälzt, welche vor die Thür stürzten. Als er zu sich selbst gekommen war, dachte er zuerst daran, in die Kirche zurückzukehren, um sich zu dem Pfarrer von Moustiers zu begeben, den er ohne Bewußtseyn fand.

Der junge Mensch lenkte die Aufmerksamkeit und die Sorge derjenigen, welche, leichter verletzt, noch Hülfe leisten konnten, auf den ehrwürdigen unglücklichen Pfarrer. Man hob ihn auf, löschte die Flamme seiner Kleider, und mit Hülfe von Essig rief man ihn nach zweistündiger Betäubung in's Leben zurück. Er spie Blut. Den Donner versicherte er nicht gehört und nichts von Allem gewußt zu haben, was vorgegangen war. Man brachte ihn in das Pfarrhaus. Das elektrische Fluidum hatte den oberen Theil der Goldborden seiner Stola stark verletzt und hatte im Herunterlaufen einen seiner Schuhe fortgeschleudert, den man am Ende der Kirche mit zerbrochener Metallschnalle fand. Der Stuhl, auf welchem er gesessen hatte, war zerbrochen. Erst nach zwei Monaten vernarbten die Wunden, deren er fünf erhalten hatte. Während dieser Zeit wurde er durch Schlaflosigkeit ermattet, die Arme waren gelähmt, und er litt viel bei Witterungsveränderungen.

Ein Kind wurde von den Armen seiner Mutter sechs Schritte weit fortgeschleudert; es wurde erst in das Leben zurückgerufen, als man es ins Freie brachte. Die Kirche war mit einem dicken schwarzen Rauch erfüllt; man konnte die verschiedenen Gegenstände nur vermittelst der Flammen der durch den Blitz entzündeten Gegenstände erkennen. Acht Personen blieben todt auf dem Platze. Ein Mädchen von 19 Jahren starb des anderen Tages unter schrecklichen Schmerzen. 82 Personen waren verwundet.

Der celebrirende Priester war nicht vom Blitze getroffen worden, vielleicht weil er ein seidenes Gewand trug.

Eine Frau, welche auf dem Gebirge westlich von Chateauneuf in einer Hütte war, sah dreimal nach einander Feuermassen herabfallen, welche das ganze Dorf in Asche legen zu müssen schienen.

Wahrscheinlich hatte der Blitz zuerst das Kreuz auf dem Thurme getroffen, welches man in einer Entfernung von 16 Metern in einer Felsspalte steckend fand. Das elektrische Feuer drang dann durch ein in das Gewölbe geschlagenes Loch in die Kirche; die Kanzel war zertrümmert. Man fand in der Kirche eine Höhlung von ½ Meter Durchmesser, welche bis auf das Straßenpflaster ging; eine andere führte bis in einen Stall, in welchem man 5 Schafe und 1 Pferd todt fand.

Die Blitzableiter bestehen aus einer zugespitzten Metallstange, welche 227
in die Luft hineinragt, und einem guten Leiter, welcher die Stange mit dem Boden verbindet. Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein, wenn sie ihren Zweck erfüllen sollen:

1) Die Stange muß in eine sehr feine Spitze zulaufen.

2) Die Verbindung mit dem Boden muß vollkommen leitend seyn.

3) Von der Spitze bis zum unteren Ende der Leitung darf keine Unterbrechung stattfinden.

4) Alle Theile des Apparates müssen die gehörigen Dimensionen haben.

Wenn eine Gewitterwolke über dem Blitzableiter schwebt, so werden die verbundenen Elektricitäten des Stabes und der Leitung zerlegt, diejenige Elektricität wird abgestoßen, welche mit der der Wolke gleichnamig ist, und sie kann sich frei im Boden verbreiten, die entgegengesetzte Elektricität aber wird nach der Spitze gezogen, wo sie frei in die Luft ausströmen kann; auf diese Weise ist keine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter möglich. Während so der Blitzableiter in Thätigkeit ist, während ihn die entgegengesetzten Elektricitäten in entgegengesetzter Richtung durchströmen, kann man sich ihm ohne Gefahr nähern, man kann ihn ohne Gefahr berühren, denn wo keine elektrische Spannung vorhanden ist, ist auch kein Schlag zu befürchten.

Nehmen wir nun an, einer der drei zuerst genannten Bedingungen sey nicht erfüllt, die Spitze sey stumpf, die Leitung zum Boden sey unvollkommen oder unterbrochen, so ist klar, daß eine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter nicht allein möglich, sondern auch, daß sie unvermeidlich ist; er bildet dann einen geladenen Conductor, in welchem eine ungeheure Menge von Elektricität angehäuft seyn kann, man kann bald schwächere, bald stärkere Funken aus ihm ziehen.

Wenn nur die Spitze stumpf ist, so kann der Blitz einschlagen, allein er wird der Leitung folgen, ohne das Gebäude zu zerstören.

Wenn die Leitung unterbrochen oder die Verbindung mit dem Boden unvollkommen ist, so kann der Blitz ebenfalls einschlagen, er wird sich aber auch seitwärts auf andere Leiter verbreiten und eben solche Zerstörungen anrichten, als ob gar kein Blitzableiter vorhanden gewesen wäre.

Noch mehr: ein Blitzableiter, welcher diese Fehler hat, ist sehr gefährlich, selbst wenn der Blitz nicht einschlägt; denn wenn an irgend einer Stelle der Leitung die Elektricität hinlänglich angehäuft ist, so kann ein Funken seitwärts überschlagen, welcher irgend Gegenstände zertrümmern oder entzünden kann. Man kann dafür ein trauriges Beispiel anführen. Richmann, Professor der Physik in Petersburg, wurde von einem Funken plötzlich getödtet, welcher dem Blitzableiter entfuhr, der in sein Haus heruntergeleitet war und dessen Leitung er unterbrochen hatte, um die Elektricität der Wolken zu untersuchen. Sokolow, Kupferstecher der Akademie, sah, wie der Funken Richmann auf die Stirne traf.

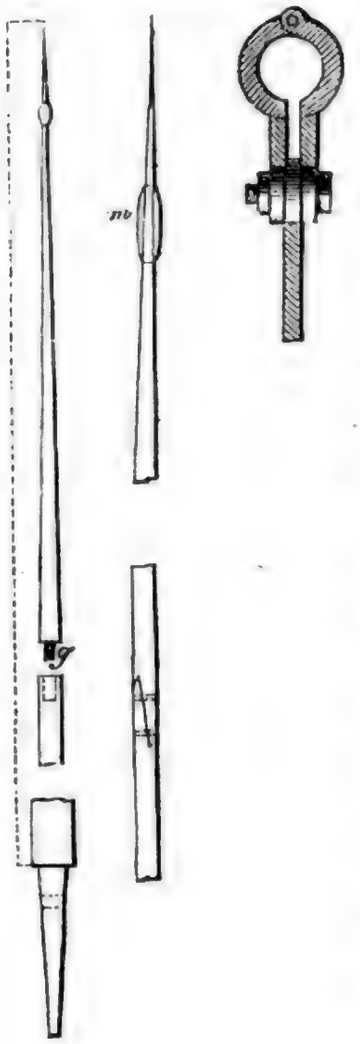
Nachdem wir angegeben haben, welche Bedingungen erfüllt seyn müssen, wenn ein Blitzableiter wirksam sein soll, und welche Gefahren daraus entspringen, wenn man sie vernachlässigt, bleibt noch Einiges über die praktische Ausführung der Blitzableiter zu sagen übrig. Gay-Lussac hat unter den Auspicien der Akademie der Wissenschaften auf das Verlangen des Ministers des Innern eine Instruction über diesen Gegenstand verfaßt, welche nichts zu wünschen übrig läßt, aus der wir aber hier nur das Wesentlichste anführen können.

Die Stange des Blitzableiters ist ungefähr 9 Meter lang; sie ist aus drei Stücken zusammengesetzt, nämlich

einer Eisenstange von 8,6 Meter Länge
einem Messingstabe von 0,6 » »
einer Platinnadel von 0,05 » »

Zusammen bilden sie einen von unten nach oben gleichmäßig zulaufenden Kegel, Fig. 438.

Fig. 438. Fig. 439. Fig. 442.



Die Platinnadel ist an dem Messingstabe mit Silber angelöthet und die Verbindungsstelle mit einer Hülle von Kupfer umgeben, wie man dies Fig. 439 deutlicher sieht.

Der Messingstab ist in der Eisenstange eingeschraubt und dann noch durch Querstifte befestigt.

Die Eisenstange ist manchmal, um den Transport zu erleichtern, aus zwei Stücken zusammengesetzt, von denen das eine mittelst eines 2 Decimeter langen Zapfens in das andere hineingesteckt und dann mittelst eines Querstiftes befestigt ist.

In Fig. 441 sieht man drei verschiedene Arten, nach welchen die Stange auf einem Gebäude befestigt werden kann.

Unterhalb der Stange, 8 Centimeter weit vom Dache, ist eine Platte *b b'*, Fig. 440, angelöthet, um das Wasser abzuleiten. 5 Centimeter über dieser Platte muß die Stange cylindrisch und vollkommen gut abgedreht seyn, damit man ein Charnier *l l'*, Fig. 440 und 442, darum legen kann, an welchem die Leitstangen befestigt werden.

Der Leiter ist eine quadratische Eisenstange, deren Seite 15 bis 20 Millimeter beträgt und welche an dem Ringe *l l* mittelst Schrauben befestigt ist.

Die Leitstange wird über das Dach her und an dem Gebäude herunter in den Boden geleitet. Alles kommt darauf an, die Leitstange mit dem Boden möglichst gut in leitende Verbindung zu bringen. Wenn irgend ein Brunnen in der Nähe ist, welcher nicht austrocknet, oder wenn man ein Loch bis zu der Tiefe bohren kann, in welcher sich beständig Wasser findet, so reicht es hin, die Stange hineinzuleiten, indem man sie in meh-

rere Arme theilt. Um die Berührungspunkte zu vermehren, führt man die Stange durch Windungen zu dem Brunnen oder dem Bohrloche, welche

Fig. 440. Fig 443.

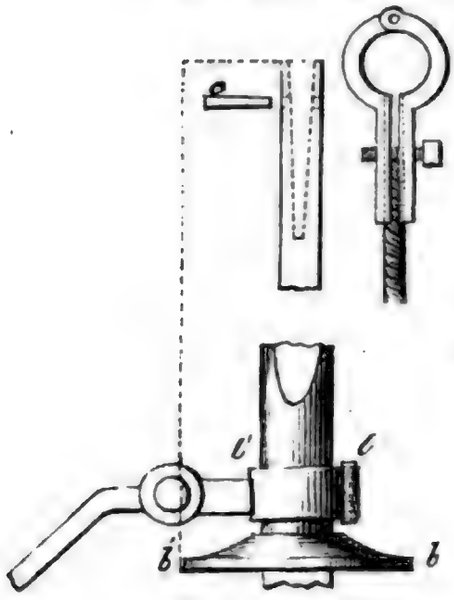
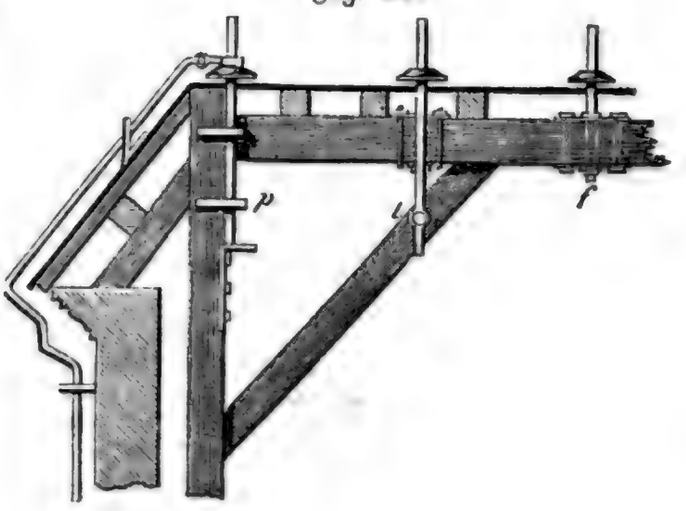


Fig. 441.



man dann mit Holzkohlen ausfüllt. Dies gewährt den doppelten Vortheil, daß auf dieſe Weiſe das Eiſen beſſer vor Roſt geſchützt wird und daß es mit einem ſehr guten Leiter, der Kohle, in Berührung iſt.

Wenn man kein Waſſer in der Nähe hat, muß man die Stange wenigſtens durch einen langen Kanal, der mit Kohlen ausgefüllt wird, an einen feuchten Ort leiten. Der größeren Sicherheit wegen kann man die Leitſtange auch noch in Seitenkanäle verzweigen.

Häufig wendet man ſtatt der Leitſtange ein von Kupferdraht gewundenes Seil an, wie Fig. 443.

Wenn man leicht einſieht, daß der Blitz nicht in einen nach dieſen Principien conſtruirten Blitzableiter ſchlägt, ſo iſt es nicht ſchwieriger zu begreifen, daß er auch in einiger Entfernung vom Blitzableiter nicht einſchlagen kann. Die Elektricität, welche in reichlichem Maaße durch die Spitze ausſtrömt, wird durch die Gewitterwolke angezogen und neutraliſirt, daſelbſt angekommen, einen Theil der urſprünglichen Elektricität dieſer Wolke. Wenn alſo eine Gewitterwolke dem Blitzableiter nahe genug iſt, um vertheilend wirken zu können, ſo wird auch ſogleich ihre elektriſche Kraft durch das Zuſtrömen der entgegengeſetzten Elektricität aus der Spitze geſchwächt. Je mehr ſich die Wolke nähert, deſto ſtärker wirkt ihre vertheilende Kraft, deſto mehr wird ſie aber auch durch das Zuſtrömen der entgegengeſetzten Elektricität neutraliſirt.

Die Wirkſamkeit des Blitzableiters iſt jedoch noch an einige andere Bedingungen geknüpft. Wenn er von anderen in der Nähe befindlichen Ge-

genſtänden überragt wird, ſo kann die Elektricität der Wolke auf dieſe ſtärker wirken als auf den Blitzableiter, es iſt alſo ein Schlag möglich; ebenſo wenn bedeutende Metallmaſſen, etwa eiſerne Stangen oder eine metalliſche Dachbedeckung, ſich in der Nähe des Blitzableiters befinden. In dem letzteren Falle muß man dieſe Metallmaſſen möglichſt gut in leitende Verbindung mit dem Blitzableiter bringen, damit die angezogene Elektricität ungehindert durch die Spitze ausſtrömen kann. Es iſt demnach gefährlich, die metallene Dachbedeckung von dem Blitzableiter zu iſoliren, wie dies einige Praktiker vorgeſchlagen haben. Glücklicher Weiſe ſind die Mittel, welche ſie zur Iſolirung angewandt haben, nicht ausreichend, um ihren Zweck zu erfüllen, und ſo haben ſie nur etwas Unnützes gemacht.

Die Erfahrung zeigt, daß ein mit allen Vorſichtsmaßregeln angelegter Blitzableiter von den angegebenen Dimenſionen einen Umkreis von ungefähr 20 Metern Radius ſchützt.

Geographiſche Verbreitung der Gewitter. In der heißen Zone 228
ſind die Gewitter ſehr häufig, namentlich zu Anfange und zu Ende der naſſen Jahreszeit, in der Region der Calmen aber findet faſt täglich ein Gewitter Statt; ſie ſind dort ungleich heftiger als in unſeren Gegenden. In höheren Breiten werden die Gewitter ſeltener; im weſtlichen Europa und in Deutſchland kommen ungefähr 20 Gewitter auf das Jahr, in Petersburg und Moskau 17, in Stockholm 9, in Bergen 6; in noch nördlicheren Gegenden ſind ſie noch ſeltener, ſo daß oft mehrere Jahre vergehen, ohne daß man einmal donnern hört.

Im weſtlichen Europa fällt ungefähr die Hälfte aller im Laufe eines Jahres ſtattfindenden Gewitter auf den Sommer, auf den Winter ungefähr $^1/_{10}$. In Deutſchland und der Schweiz ſind die Gewitter im Sommer noch zahlreicher, Wintergewitter aber ſind hier eine Seltenheit; noch weiter im Innern von Europa giebt es gar keine Wintergewitter mehr. Auf der Weſtküſte von Norwegen, in Bergen, wo im Laufe eines Jahres im Durchſchnitte 6 Gewitter ſtattfinden, kommen dagegen ungefähr 2—3 Gewitter auf den Winter und nur 1 — 2 auf den Sommer. Auch auf der Weſtküſte von Nordamerika und den Oſtküſten des adriatiſchen Meeres ſind die Wintergewitter vorherrſchend.

Siebentes Kapitel.

Vom Erdmagnetismus.

229 Die Wirkung, welche der Erdmagnetismus an irgend einem Orte der Erde ausübt, iſt durch die Declination, die Inclination und die Intenſität beſtimmt. Mit raſtloſem Eifer haben gelehrte Reiſende in allen Welttheilen und in den verſchiedenſten Gegenden der Meere dieſe Elemente zu beſtimmen geſucht; die Reſultate ihrer Forſchungen hat man auf den Erdkarten durch drei verſchiedene Syſteme von Linien zuſammengefaßt, welche man die iſogoniſchen, die iſocliniſchen und die iſodynamiſchen genannt hat.

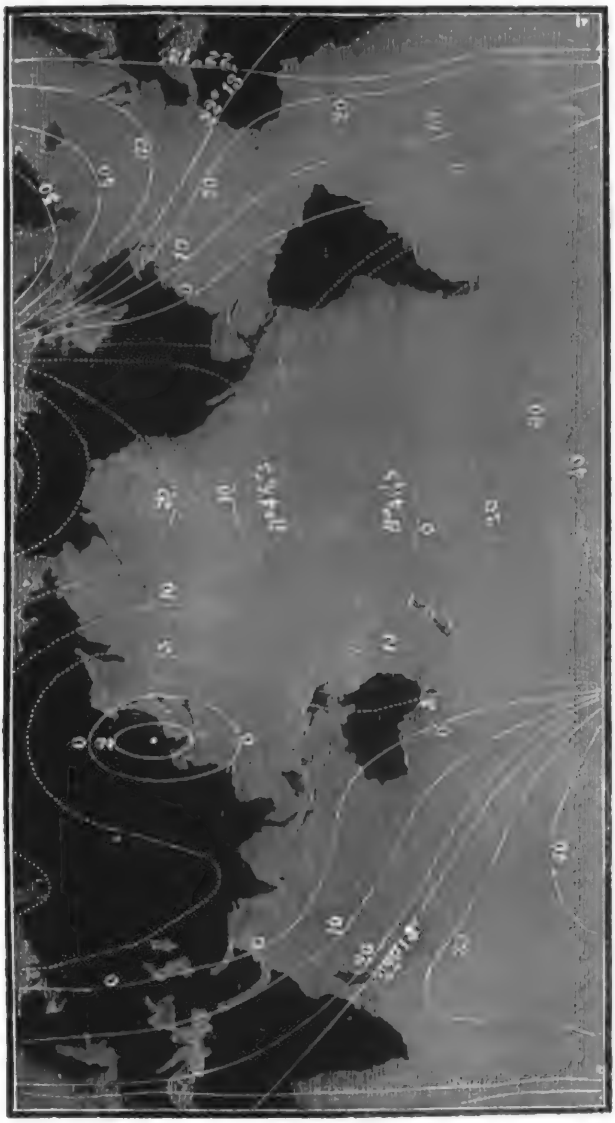
Die iſogoniſchen Linien ſind diejenigen, für welche in allen Punkten die Declination dieſelbe iſt; ſolche Karten, in welche man die iſogoniſchen Linien aufgetragen hat, nennt man Declinationskarten. Die erſte Karte der Art hat Halley im Jahre 1700 conſtruirt. Da die Elemente des Erdmagnetismus fortwährend ſich ändern, ſo kann eine ſolche Karte den Lauf der iſogoniſchen Linien nur für eine beſtimmte Zeit angeben; in der That weicht die von Hanſteen für das Jahr 1780 entworfene Declinationskarte ſchon ſehr bedeutend von der Halley'ſchen ab, und jetzt iſt natürlich der Lauf der iſogoniſchen Linien nicht mehr derſelbe, wie er im Jahre 1780 war. Die neueſten Declinationskarten ſind von Adolf Ermann und Barlow entworfen. Ermann hat die iſogoniſchen Linien nach den in den Jahren 1827 bis 1830 beobachteten Werthen der Declination conſtruirt; Barlow's Karte iſt für das Jahr 1833 entworfen.

Die Karten Fig. 444, 445 und 446 ſtellen die iſogoniſchen Linien dar, wie ſich ihr Lauf aus den nach der Gaußiſchen Theorie des Erdmagnetismus, von der alsbald die Rede ſeyn wird, berechneten Werthen der Declination ergiebt, und zwar für den Erdgürtel zwiſchen dem 70. Grade nördlicher und ſüdlicher Breite in Merkatorprojection, für die Umgebungen der Pole aber, weil der Lauf der Kurven in der Nähe derſelben in dieſer Projection zu ſehr verzerrt erſcheinen würde, in Polarprojection dargeſtellt, wie dies auch bei den folgenden Inclinations- und Intenſitätskarten der Fall iſt.

Eine Linie ohne Abweichung, d. h. eine ſolche Linie, auf welche überall die Richtung der horizontalen Magnetnadel mit der Richtung des aſtrono-

miſchen Meridians zuſammenfällt, ſchneidet die öſtliche Spitze von Südamerika ab, läuft öſtlich von Weſtindien durch den atlantiſchen Ocean, um in der Gegend von Philadelphia in den Continent von Nordamerika einzutreten und durch die Hudſonsbai hindurch zu laufen; dann paſſirt

Fig. 444.



dieſe Linie ohne Abweichung den magnetiſchen und den aſtronomiſchen Nordpol der Erde, tritt öſtlich vom weißen Meere in den Continent der alten Welt ein, geht durch das caspiſche Meer, ſchneidet die Oſtſpitze von

Arabien ab, wendet ſich dann nach Neuholland, um endlich durch den magnetiſchen und aſtronomiſchen Südpol der Erde in ſich ſelbſt zurückzulaufen.

In der Karte Fig. 444 erſcheinen zwei Stücke dieſer Linie getrennt von

Fig. 445.

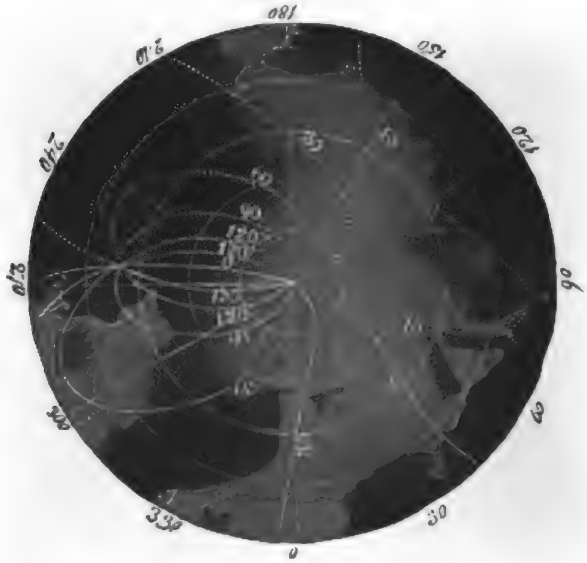
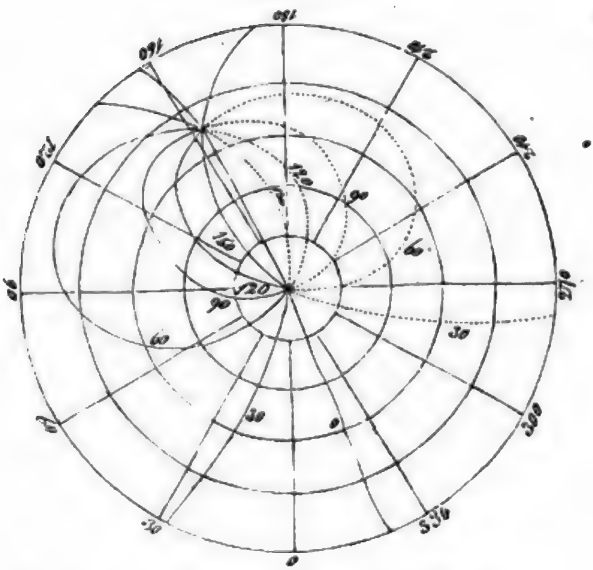


Fig. 446.



einander; die Verbindungsſtücke dieſer beiden Theile kann man auf den Karten Fig. 445 und 446 verfolgen.

Dieſe Linie ohne Abweichung, welche um die ganze Erde herumläuft,

theilt die Erdoberfläche in zwei Theile; auf der einen Hälfte, nämlich auf dem atlantischen Ocean, in Europa und Afrika ist die Abweichung der Magnetnadel überall eine westliche; auf der andern Hälfte ist die Abweichung östlich, mit Ausnahme einer kleinen Strecke im östlichen Asien und dem angränzenden Meere, denn hier findet sich eine zweite in sich selbst zurücklaufende Linie, für welche die Abweichung Null ist, und innerhalb des durch diese Kurve eingeschlossenen Raumes ist die Abweichung wieder westlich.

In unseren Karten sind alle Kurven östlicher Abweichung punktirt; die Größe der Declination, welche einer jeden Kurve entspricht, ist stets beigeschrieben.

In der Nähe der Pole bilden die isogonischen Linien ein ziemlich complicirtes System, indem sie in zwei Punkten, nämlich in dem magnetischen und in dem astronomischen Pole, zusammenlaufen; dies rührt jedoch nicht daher, daß die magnetischen Erscheinungen in jenen Gegenden so complicirt sind, sondern nur daher, daß bei der Bestimmung der Declination ein dem Magnetismus selbst eigentlich ganz fremdes Element, nämlich die Richtung des astronomischen Meridians, in Betrachtung zu ziehen ist; durch diese Einmischung geht die Einfachheit verloren. Der magnetische Pol, in welchem alle isogonischen Linien zusammenlaufen, ist allerdings ein magnetisch ausgezeichneter Punkt; denn denken wir uns ganz in der Nähe dieses Pols um denselben einen Kreis gezogen, so wird für alle Punkte dieses Kreises die horizontale Magnetnadel nach diesem Pole hin gerichtet seyn; der Nordpol und der Südpol der Erde sind aber durchaus keine magnetisch ausgezeichneten Punkte, obgleich die isogonischen Linien sich in diesen Polen schneiden; sehen wir nun, woher dies kommt. Auf dem Nordpole selbst fällt die Richtung der horizontalen Magnetnadel sehr nahe mit der Richtung des 60. Längengrades zusammen; in der Nähe dieses Pols rings um denselben herum wird nun die Magnetnadel fast ganz dieselbe Richtung haben, rings um den Pol herumgehend wird man aber deshalb der Reihe nach alle möglichen Werthe der Declination finden, weil alle Mittagslinien nach dem Pole convergiren; eine und dieselbe Richtung der Magnetnadel macht also verschiedene Winkel mit den von allen Seiten her nach dem Pole zusammenlaufenden Meridianen.

Aehnliche Verwickelungen werden wir bei den folgenden Karten nicht wiederfinden.

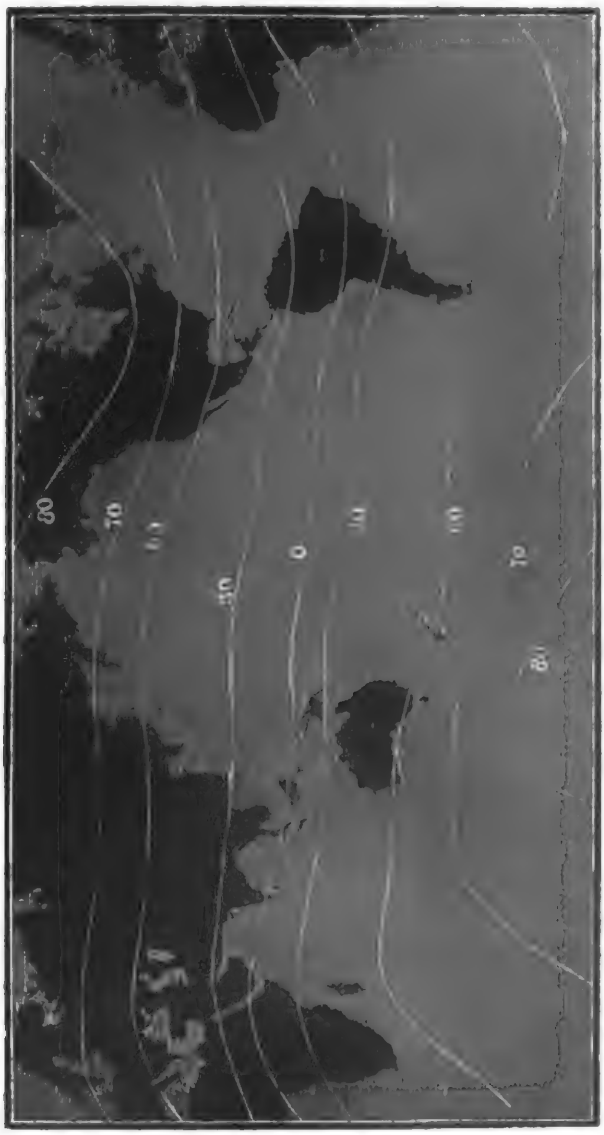
Diese Kärtchen können natürlich schon wegen ihrer Kleinheit keinen Anspruch auf Genauigkeit machen, ihr Zweck ist auch nur, ein Bild vom Laufe der magnetischen Kurven zu geben.

Die Karten Fig. 447 und 448 stellen den Lauf der isoklinischen Linien dar. Die isoklinischen Linien verändern sich im Laufe der

Zeit wie die iſogoniſchen. Die erſte Inclinationskarte wurde im Jahre 1780 von Hanſteen conſtruirt; der jetzige Lauf der iſokliniſchen Linien weicht ſchon bedeutend von der damaligen Lage dieſer Linien ab.

Die Linie auf der Erdoberfläche, für welche die Inclination gleich 0 iſt,

Fig. 447.



auf welcher alſo die Inclinationsnadel wagerecht ſteht, iſt der magnetiſche Aequator. Nördlich vom magnetiſchen Meridian iſt das Nordende, ſüdlich von demſelben iſt das Südende der Inclinationsnadel nach unten gerichtet.

Die magnetiſchen Pole der Erde ſind diejenigen Stellen der Erdoberfläche, auf welchen die Inclinationsnadel vertikal ſteht, wo alſo der horizontale Antheil der magnetiſchen Erdkraft ganz verſchwindet. Solcher

Fig. 448.

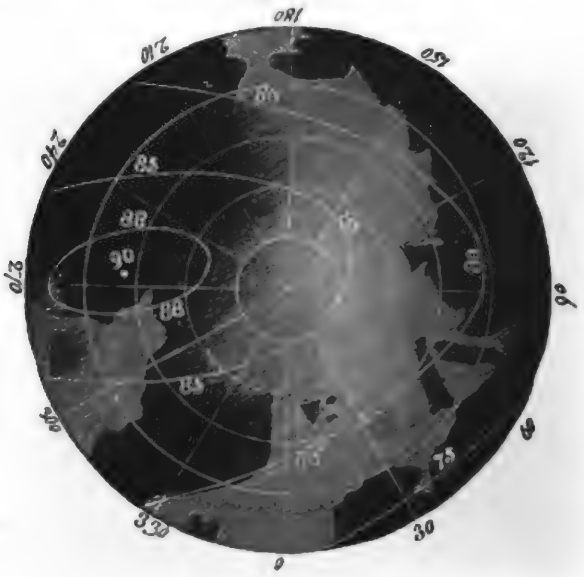
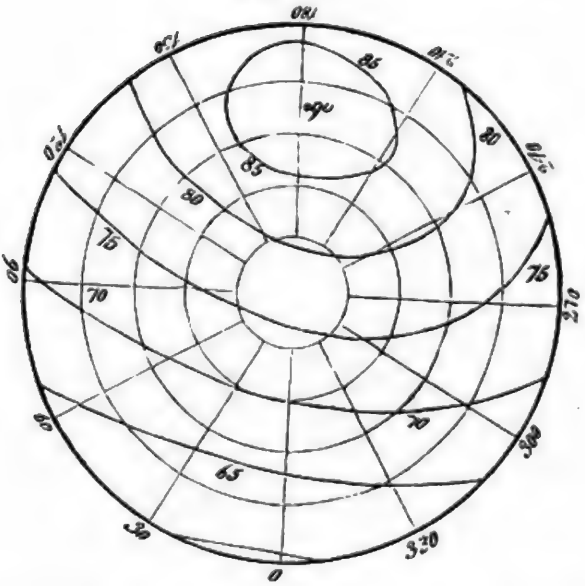


Fig. 449.

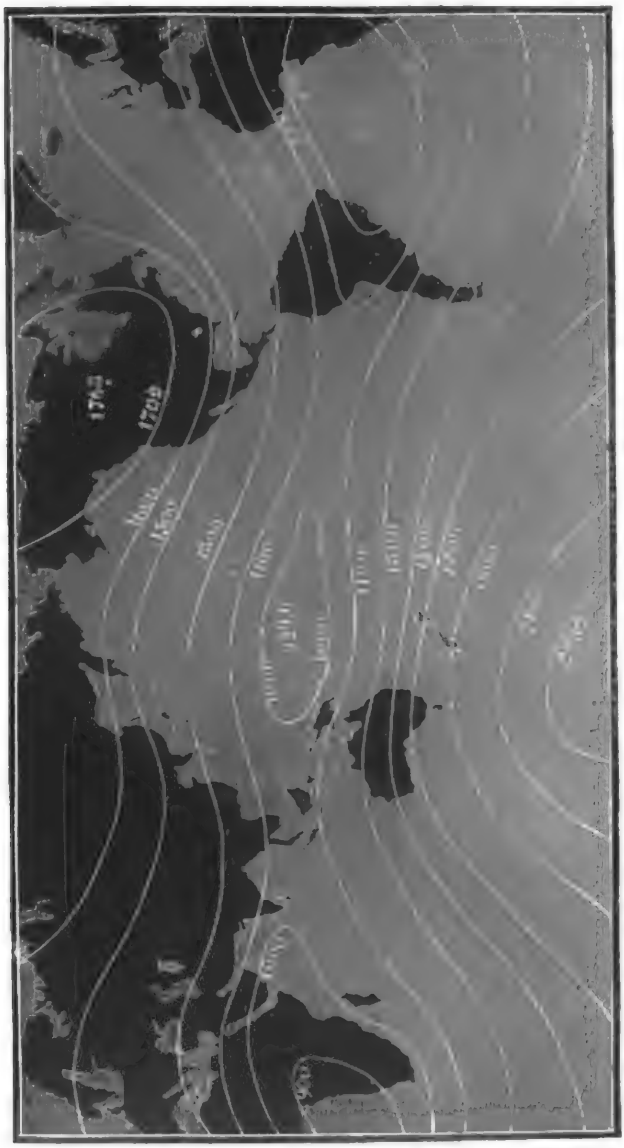


magnetiſchen Pole giebt es zwei auf der Erdoberfläche, nämlich einen nördlichen und einen ſüdlichen. Nach der Gauß'ſchen Theorie liegt der nördliche magnetiſche Pol 3° 30′ nördlich von dem Orte, wo ihn der Capitain Roß fand; beim ſüdlichen magnetiſchen Pole wird man, wie Gauß

bemerkt, wohl noch eine bedeutend größere Verſchiebung zu erwarten haben.

Man kann ſich über dieſe Differenzen zwiſchen der Rechnung und der

Fig. 450.



Beobachtung nicht wundern, wenn man bedenkt, daß die Data, welche Gauß zur Ausführung ſeiner Theorie zu Grunde legen konnte, ſelbſt mehr oder weniger ungenau ſind, daß die Angaben verſchiedener Beobachter für einen und denſelben Ort oft zu bedeutend differiren, als daß man

annehmen könnte, diese Unterschiede seyen den Veränderungen der erdmagnetischen Kraft im Laufe der wenigen Jahre zuzuschreiben, welche zwischen den Beobachtungszeiten beider liegen.

Die Größe der entsprechenden Inclination ist jeder Kurve unserer Figuren beigeschrieben. Die mit 90 bezeichneten Punkte in Fig. 448 und 449 sind die magnetischen Pole, es sind dies dieselben Punkte, in welchen die Declinationskurven in Fig. 445 und 446 zusammenlaufen.

Die beiden magnetischen Pole der Erde liegen einander nicht diametral gegenüber, d. h. eine die beiden Pole verbindende gerade Linie geht nicht durch den Mittelpunkt der Erde, sondern diese Linie bildet eine Sehne, welche von dem durch die beiden Pole gelegten größten Kreise einen Bogen von $161^0\ 13'$ abschneidet.

In den Karten Fig. 450, 451 und 452 sind die isodynamischen Linien nach den berechneten Werthen der ganzen Intensität aufgetragen. Man sieht, daß es auf der nördlichen Halbkugel zwei Orte giebt, an welchen die Intensität ein Maximum, d. h. größer als in allen rund herum gelegenen Orten ist; ein solches Maximum der Intensität findet sich in Nordamerika etwas westlich von der Hudsonsbay, Fig. 450, ein zweites im nördlichen Asien, Fig. 451. Dieser Umstand hat einige Gelehrte veranlaßt, die Existenz von zwei magnetischen Polen auf der nördlichen Halbkugel anzunehmen; um zu entscheiden, ob dies wirklich der Fall ist, muß man vor allen Dingen feststellen, was man unter einem magnetischen Pole der Erde versteht. Gewöhnlich nennt man, wie wir es auch gethan haben, diejenigen Orte der Erdoberfläche magnetische Pole, an welchen der horizontale Theil der Erdkraft verschwindet; man könnte aber unter einem magnetischen Pole auch eine solche Stelle verstehen, für welche die Intensität des Magnetismus ein Maximum ist. Diese beiden Begriffe sind aber nun durchaus nicht identisch, es kann an einem Orte die horizontale Composante des Erdmagnetismus verschwinden, die Inclinationsnadel kann sich vertikal stellen, ohne daß deshalb hier auch ein Maximum der Intensität zu finden ist; umgekehrt kann an einem Orte die Intensität des Erdmagnetismus sehr wohl ein Maximum seyn, ohne daß sich die Inclinationsnadel vertikal stellt.

Nimmt man das Wort Pol im gewöhnlichen Sinne, so giebt es nur einen magnetischen Nordpol. An diesem Nordpole ist die Intensität des Erdmagnetismus kein Maximum; an den beiden Orten aber, für welche die Intensität ein Maximum ist, stellt sich die Inclinationsnadel nicht vertikal, diese Orte sind also nach unserer Begriffsbestimmung keine magnetischen Pole.

Die den isodynamischen Linien beigeschriebenen Zahlen geben den Werth der Intensität nicht nach dem schon im ersten Theile besprochenen absoluten

Maaße, ſondern nach der bisher üblichen willkürlichen Einheit an, nach welcher die Intenſität für London 1,372 iſt; nur ſind dieſe Zahlen, um

Fig. 451.

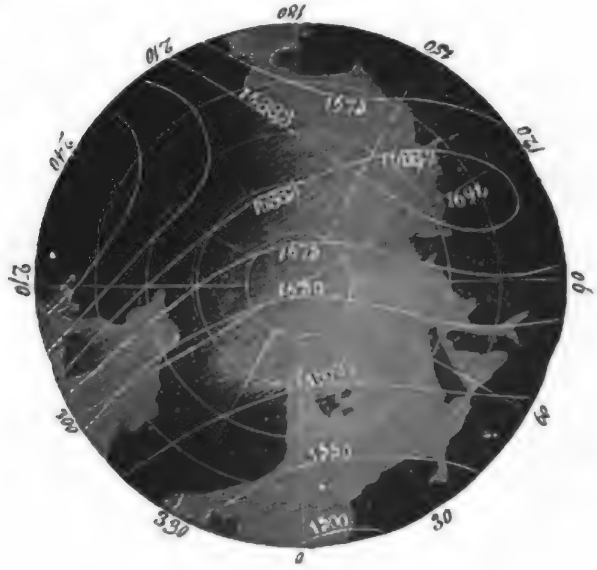
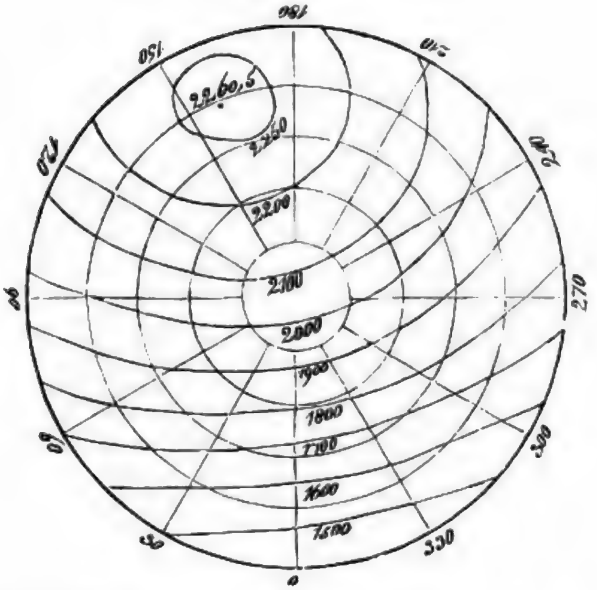


Fig. 452.



Brüche zu vermeiden, noch mit 1000 multiplicirt. Um die Zahlen unſerer Karte auf das abſolute Maaß zu reduciren, ſind ſie nur mit 0,0034941 zu multipliciren.

229 **Theorie des Erdmagnetismus.** Die einfachſte und älteſte Hypotheſe, welche zur Erklärung der Erſcheinungen des Erdmagnetismus aufge-

ſtellt worden, iſt die, einen kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde anzunehmen, oder vielmehr anzunehmen, der Magnetismus ſey in der Erde ſo vertheilt, daß die Geſammtwirkung nach außen der Wirkung eines fingirten kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde gleich ſey. Daß eine ſolche Annahme ſich mit den Beobachtungen nicht verträgt, ſieht man auf den erſten Blick. Nach dieſer Hypotheſe wären die magnetiſchen Pole diejenigen Punkte der Erdoberfläche, in welchen dieſelbe von der verlängerten Axe des Centralmagneten getroffen wird; in dieſen Polen müßte zugleich die Intenſität ein Maximum ſeyn; der magnetiſche Aequator wäre ein größter Kreis, und alle iſocliniſchen Linien mit demſelben parallel u. ſ. w. Tobias Mayer hat dieſe Hypotheſe dadurch modificirt, daß er den fingirten Magneten um den 7. Theil des Erdhalbmeſſers von dem Mittelpunkte der Erde entfernt annahm; Hanſteen verſuchte, die Erſcheinungen durch die Annahme von zwei kleinen Magneten von ungleicher Lage und Stärke zu erklären. Alle dieſe Verſuche gaben jedoch keine genügenden Reſultate.

Gauß hat endlich einen andern Weg eingeſchlagen, indem er nicht wie ſeine Vorgänger von einer einfachen Hypotheſe über die magnetiſche Vertheilung in der Erde ausging und dann die Reſultate dieſer Hypotheſe mit der Erſcheinung verglich, ſondern er ſuchte gleich die Frage zu beantworten: wie muß dieſer große Magnet beſchaffen ſeyn, um den Erſcheinungen Genüge zu leiſten?

Die Gauß'ſche Theorie läßt ſich ohne Hülfe höherer Rechnung nicht entwickeln, da es ſich hier darum handelt, das Zuſammenwirken aller magnetiſchen Kräfte, die keineswegs gleichförmig und regelmäßig vertheilt ſind, in mathematiſchen Formen darzuſtellen; wir müſſen uns alſo darauf beſchränken, die Grundideen dieſer Theorie anzudeuten.

Die Grundlage der Gauß'ſchen Theorie iſt die Vorausſetzung, daß die erdmagnetiſche Kraft die Geſammtwirkung der magnetiſirten Theile des Erdkörpers iſt. Das Magnetiſirtſeyn ſtellt er ſich als eine Scheidung der magnetiſchen Flüſſigkeit in der Weiſe vor, wie wir dies ſchon im zweiten Bande, Seite 9, entwickelt haben. Eine Vertauſchung dieſer Vorſtellungsart mit der Ampère'ſchen würde in den Reſultaten nichts ändern. Dies vorausgeſetzt, wird die Geſammtheit aller magnetiſirten Theile des Erdballs auf jeden Punkt im Raume eine beſtimmte Wirkung ausüben, und dieſe Wirkung wird von einem Punkte des Raums zum andern ſich ändern müſſen. Wir haben hier nur diejenigen Punkte des Raumes zu betrachten, welche auf der Erdoberfläche liegen. Zunächſt iſt demnach klar, wie auch der freie Magnetismus im Innern der Erde vertheilt ſeyn mag, die Wirkung wird in verſchiedenen Punkten der Erdoberfläche nicht dieſelbe ſeyn, ſie wird von der geographiſchen Länge und Breite des Ortes abhängen, den

man gerade betrachtet. Die Wirkungen des Erdmagnetismus müssen sich also durch Gleichungen ausdrücken lassen, in denen die Länge und die Breite die veränderlichen Größen sind, die Constanten dieser Gleichungen aber hängen von der Art und Weise ab, wie der freie Magnetismus in der Erde vertheilt ist.

Zunächst entwickelt Gauß auf diese Weise eine Gleichung für den Werth des magnetischen Potentials, einer Größe, aus welcher sich die Werthe der nördlichen, westlichen und vertikalen Composante der erdmagnetischen Kraft und aus diesen dann wieder Declination, Inclination und totale Intensität leicht berechnen lassen.

Das magnetische Potential, welches also zunächst als eine wichtige Hülfsgröße für die Berechnung des Erdmagnetismus dient, hat aber auch eine physikalische Bedeutung. Denken wir uns an irgend einer Stelle der Erdoberfläche eine vertikale Röhre angebracht, deren Querschnitt 1 Quadratmillimeter beträgt, und diese Röhre bis zu einer Höhe, in welcher die Wirkung des Erdmagnetismus unmerklich wird, mit nordmagnetischem Fluidum in der Weise gefüllt, daß jedes Kubikmillimeter 1 Maaß (nach der bekannten absoluten Einheit) dieses Fluidums enthält, so stellt uns das magnetische Potential den Druck dar, welchen der Boden dieser Röhre dadurch auszuhalten hat, daß der Erdmagnetismus die in der Röhre enthaltene Flüssigkeit anzieht; da, wo das nordmagnetische Fluidum von dem Erdmagnetismus abgestoßen werden würde, hat man sich die Röhre in gleicher Weise mit südmagnetischem Fluidum gefüllt zu denken.

In den Karten Fig. 453, 454 und 455 sind die Linien gleicher Werthe des magnetischen Potentials dargestellt; die beigeschriebenen Zahlen beziehen sich nicht auf absolutes Maaß, sondern auf die bekannte willkürliche Einheit; sie können durch Multiplication mit 0,0034941 auf absolutes Maaß reducirt werden.

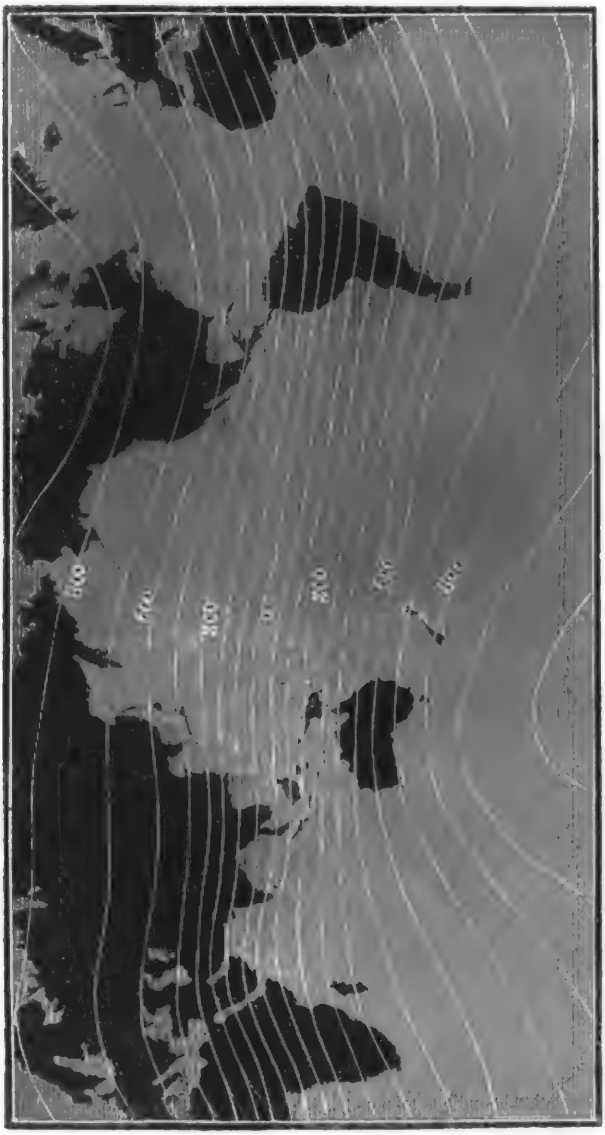
Die Kurven gleicher Werthe des magnetischen Potentials wollen wir Gleichgewichtslinien nennen.

Aus dem Laufe der Gleichgewichtslinien ergiebt sich die Richtung der horizontalen Magnetnadel auf eine sehr einfache Weise, indem, wie Gauß gezeigt hat, die Richtung der Declinationsnadel stets rechtwinklig auf den Gleichgewichtslinien stehen muß. Aus dem Laufe dieser Kurven kann man die Richtung der Boussole für jeden Ort der Erdoberfläche auf eine ungleich einfachere und übersichtlichere Weise ableiten, als es mittelst der Declinationskarte möglich ist.

Zwischen den Werthen des magnetischen Potentials und der horizontalen Intensität findet folgende Beziehung Statt. Denken wir uns auf einer Karte nur solche Gleichgewichtslinien gezogen, welche gleichen Differenzen des magnetischen Potentials entsprechen, wie dies z. B. in der Karte

Fig. 453 der Fall iſt, wo die Kurven den immer um 100 wachſenden Werthen des magnetiſchen Potentials entſprechen, ſo iſt die horizontale

Fig. 453



Intenſität der Entfernung der Gleichgewichtskurven umgekehrt proportional; die horizontale Intenſität iſt alſo für ſolche Gegenden am größten, für welche die Gleichgewichtslinien am dichteſten ſind; je weiter die gleichen Differenzen des Potentials entſprechender Kurven auseinanderrücken, deſto kleiner wird die horizontale Intenſität.

Aus der horizontalen Intenſität ergiebt ſich leicht die nördliche und weſtliche Compoſante, da ja durch den Lauf der Gleichgewichtslinien auch die Richtung der horizontalen magnetiſchen Kraft beſtimmt iſt.

Aus den Werthen des magnetiſchen Potentials ergeben ſich auch die Werthe der vertikalen Intenſität; doch können wir dieſen Zuſammen-

Fig. 454.

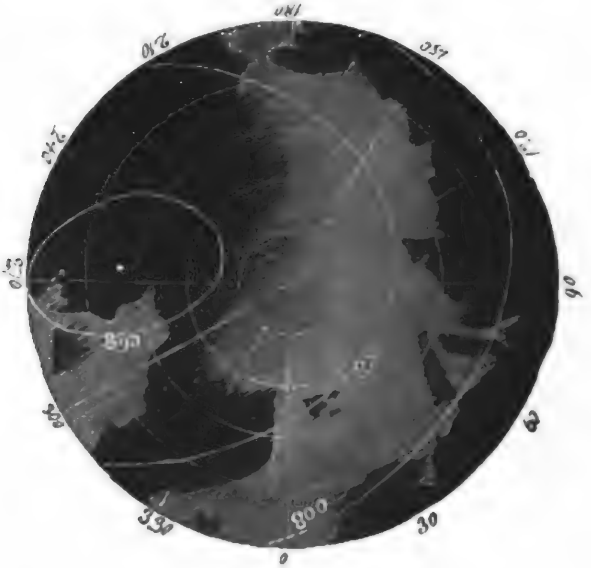
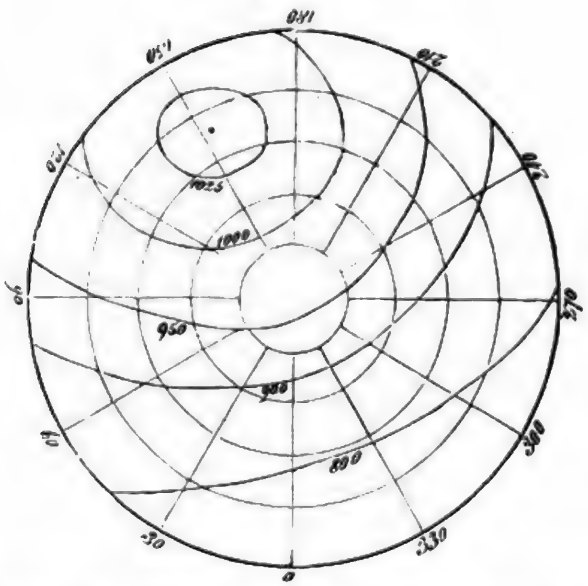


Fig. 455.



hang hier nicht weiter verfolgen. Sind aber erſt die drei Compoſanten der erdmagnetiſchen Kraft beſtimmt, ſo kann man auch noch leicht die Größe und Richtung der ganzen Intenſität ermitteln.

Wenn man in den Werthen für das magnetiſche Potential und die drei Compoſanten der erdmagnetiſchen Kraft nur diejenigen Glieder noch berückſichtigt, welche mit den 4ten Potenzen der veränderlichen Größen (Länge und Breite) behaftet ſind, die höheren Potenzen aber vernachläſſigt, ſo bleiben in den Werthen noch 24 conſtante Coëfficienten zu beſtimmen. Dieſe Coëfficienten können wir nun nicht a priori aus der Vertheilung des freien Magnetismus in der Erde ableiten, weil wir ja noch nichts über die Art wiſſen, wie der freie Magnetismus vertheilt iſt; die 24 Coëfficienten müſſen demnach durch die Combination von 24 verſchiedenen Beobachtungen beſtimmt werden. Die genaue Beſtimmung der 3 Elemente des Erdmagnetismus an 8 verſchiedenen Orten der Erdoberfläche würden alſo hinreichen, um die 24 Coëfficienten zu ermitteln.

Sind einmal die conſtanten Coëfficienten bekannt, ſo kann man nach den erwähnten Gleichungen die Werthe der drei Compoſanten der erdmagnetiſchen Kraft und folglich auch die Declination, die Inclination und die ganze Intenſität für jeden Ort der Erdoberfläche berechnen, wenn man für die Länge und Breite die dieſem Orte entſprechenden Zahlenwerthe in die Gleichungen ſetzt.

Da es an einer hinlänglich genauen Beſtimmung aller drei Elemente des Erdmagnetismus für 8 weit genug von einander entfernte Orte der Erdoberfläche fehlt, ſo muß man mehr Beobachtungen zu Hülfe nehmen, als eigentlich zur Beſtimmung der Coëfficienten nöthig ſind. Auf dieſe Weiſe werden ſich für denſelben Coëfficienten mehrere verſchiedene Werthe ergeben, und man hat alsdann nach der Methode der kleinſten Quadrate den wahrſcheinlichſten Mittelwerth für jeden Coëfficienten zu ermitteln.

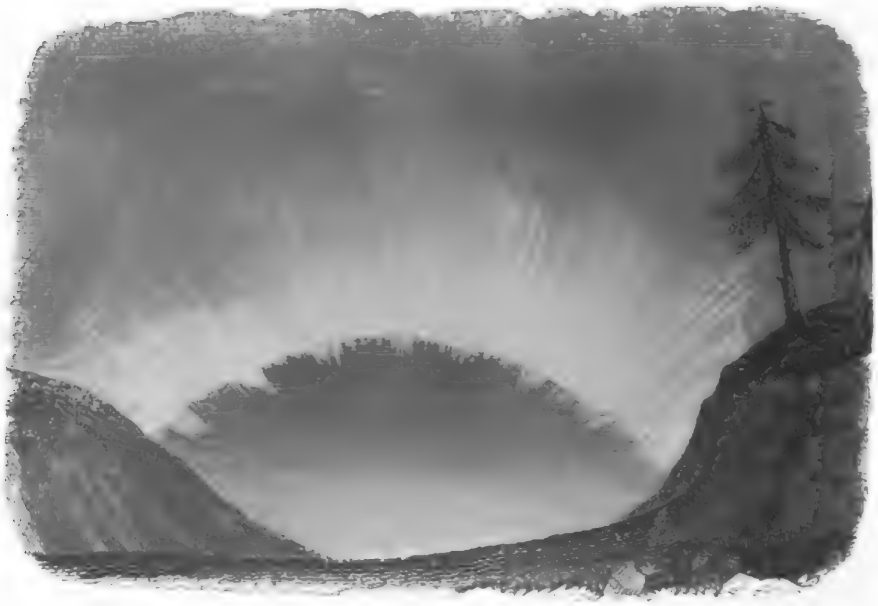
Das Nordlicht gehört unſtreitig zu den prächtigſten, aber auch zu 230
den räthſelhafteſten Erſcheinungen; es wird hier, wie dies gewöhnlich geſchieht, im Kapitel vom Erdmagnetismus abgehandelt, weil es mit demſelben in einer gewiſſen Beziehung zu ſtehen ſcheint, indem das Phänomen ſtets in der Richtung des magnetiſchen Meridians beobachtet wird und ſein Erſcheinen in der Regel bedeutende Oscillationen der Declinationsnadel veranlaßt.

In unſeren Gegenden iſt die Erſcheinung des Nordlichts ziemlich ſelten; ſehr ſchöne Nordlichter wurden in Deutſchland unter anderen am 7. Januar 1831 und im Februar 1836 beobachtet. Fig. 456 ſoll das Nordlicht darſtellen, wie es gewöhnlich bei uns geſehen wird; es iſt jedoch zu bemerken, daß es ſchwierig iſt, durch Beſchreibung und Abbildung eine recht klare Vorſtellung des Phänomens zu geben.

In höheren Breiten, in den nördlichen Theilen von Europa, Aſien und Amerika ſind die Nordlichter weit häufiger und ungleich prächtiger als bei uns.

Möge es erlaubt ſeyn, hier die Beſchreibung eines Nordlichtes folgen zu laſſen, wie es Lottin beobachtete. Das meteorologiſche Obſervatorium, auf welchem Lottin 8 Monate, vom September 1838 bis zum

Fig. 456.



April 1839, zubrachte, war zu Boſſekop auf der Küſte von Weſt-Finnmark unter dem 70. Grade nördlicher Breite aufgeſchlagen worden. In 206 Tagen beobachtete man daſelbſt 143 Nordlichter, und zwar 64 während der längſten Nacht, welche in jenen Gegenden vom 17. November bis zum 25. Januar dauert.

»Des Abends zwiſchen 4 und 8 Uhr färbt ſich der obere Theil des leichten Nebels, welcher faſt beſtändig nach Norden hin in einer Höhe von 4 bis 6° herrſcht; dieſer lichte Streifen nimmt allmälig die Geſtalt eines Bogens von blaßgelber Farbe an, deſſen Ränder verwaſchen erſcheinen und deſſen Enden ſich auf die Erde aufſtützen.

»Dieſer Bogen ſteigt allmälig in die Höhe, während ſein Gipfel ſtets nahe in der Richtung des magnetiſchen Meridians bleibt.

»Bald erſcheinen ſchwärzliche Streifen, welche den lichten Bogen trennen, und ſo bilden ſich Strahlen, welche ſich bald raſch, bald langſam verlängern oder verkürzen. Der untere Theil dieſer Strahlen zeigt immer den lebhafteſten Glanz und bildet einen mehr oder weniger regelmäßigen Bogen. Die Länge der Strahlen iſt ſehr verſchieden, ſie convergiren aber nach einem Punkte des Himmels, welcher durch die Richtung des Südendes der Inclinationsnadel angedeutet iſt. Manchmal verlängern ſich die

Strahlen bis zu dieſem Punkte und bilden ſo ein Bruchſtück eines ungeheuren Lichtgewölbes.

»Der Bogen fährt fort, gegen das Zenith hin zu ſteigen; in ſeinem Glanze zeigt ſich eine undulatoriſche Bewegung, d. h. der Glanz der Strahlen wächſt der Reihe nach von einem Fuße zum andern; dieſe Art Lichtſtrom zeigt ſich oft mehrmals hinter einander, aber häufiger von Weſten nach Oſten als in entgegengeſetzter Richtung. Manchmal, aber ſelten, folgt die rückgängige Bewegung unmittelbar auf die erſte, und wenn der Glanz der Reihe nach alle Strahlen von Weſten nach Oſten durchlaufen hat, nimmt ſeine Bewegung eine entgegengeſetzte Richtung an und kehrt zu ſeinem Ausgangspunkte zurück, ohne daß man eigentlich recht ſagen kann, ob die Strahlen ſelbſt eine horizontale Verrückung erleiden, oder ob ſich der Glanz von Strahl zu Strahl fortpflanzt, ohne daß die Strahlen ihre Stelle verändern.

»Der Bogen zeigt auch in horizontaler Richtung eine Bewegung, welche den Undulationen oder Biegungen eines vom Winde bewegten Bandes oder einer Fahne nicht unähnlich iſt. Manchmal verläßt einer der Füße oder ſelbſt beide den Horizont; dann werden dieſe Biegungen zahlreicher und deutlicher; der Bogen erſcheint nur als ein langes Strahlenband, welches ſich entwickelt, ſich in mehrere Theile trennt und graziöſe Windungen bildet, welche ſich faſt ſelbſt ſchließen und das bilden, was man wohl die Krone genannt hat. Alsdann ändert ſich plötzlich die Lichtintenſität der Strahlen, ſie übertrifft die der Sterne erſter Größe; die Strahlen ſchießen mit Schnelligkeit, die Biegungen bilden und entwickeln ſich, wie die Windungen einer Schlange; nun färben ſich die Strahlen, die Baſis iſt roth, die Mitte grün, der übrige Theil behält ein blaßgelbes Licht. Dieſe Farben behalten immer ihre gegenſeitige Lage und haben eine bewundernswürdige Durchſichtigkeit. Das Roth nähert ſich einem hellen Blutroth, das Grün einem blaſſen Smaragdgrün. —

»Der Glanz nimmt ab, die Farben verſchwinden, die ganze Erſcheinung erliſcht entweder plötzlich, oder ſie wird nach und nach ſchwächer. Einzelne Stücke des Bogens erſcheinen wieder, er bildet ſich von Neuem, er ſetzt ſeine aufſteigende Bewegung fort und nähert ſich dem Zenith; die Strahlen erſcheinen durch die Perſpective immer kürzer, alsdann erreicht der Gipfel des Bogens das magnetiſche Zenith, einen Punkt, nach welchem die Südſpitze der Inclinationsnadel hinweiſt. Nun ſieht man die Strahlen von ihrem Fuße aus. Wenn ſie ſich in dieſem Augenblicke färben, ſo zeigen ſie ein breites rothes Band, durch welches hindurch man die grüne Färbung der oberen Theile erblickt. — — —

»Unterdeſſen bilden ſich neue Bogen am Horizonte, welche entweder anfangs verſchwommen erſcheinen, oder durch lebhafte Strahlen gebildet ſind.

Sie folgen einander, indem alle fast dieselben Phasen durchlaufen und in bestimmten Zwischenräumen von einander bleiben; man hat deren bis zu 9 gezählt, welche, auf die Erde gestützt, durch ihre Anordnung an die oberen Coulissen unserer Theater erinnern, die, auf die Seitencoulissen gestützt, den Himmel der Theaterscene bilden. Manchmal werden die Zwischenräume kleiner, mehrere dieser Bogen drängen einander. — So oft die Strahlen am hohen Himmel das magnetische Zenith überschritten haben, scheinen sie von Süden her nach diesem Punkte zu convergiren und bilden alsdann mit den übrigen von Norden kommenden die eigentliche Krone. Die Erscheinung der Krone ist ohne Zweifel nur eine Wirkung der Perspective, und ein Beobachter, welcher in diesem Augenblicke weiter nach Süden hin sich befindet, wird sicherlich nur einen Bogen sehen können. —

»Denkt man sich nun ein lebhaftes Schießen von Strahlen, welche beständig sowohl in Beziehung auf ihre Länge, als auf ihren Glanz sich ändern, daß sie die herrlichsten rothen und grünen Farbentöne zeigen, daß eine wellenartige Bewegung stattfindet, daß Lichtströme einander folgen und endlich, daß das ganze Himmelsgewölbe eine ungeheure prächtige Lichtkuppel zu seyn scheint, welche über einen mit Schnee bedeckten Boden ausgebreitet ist und einen blendenden Rahmen für das ruhige Meer bildet, welches dunkel ist wie ein Asphaltsee, so hat man eine unvollständige Vorstellung von diesem wunderbaren Schauspiele, auf dessen Beschreibung man verzichten muß.

»Die Krone dauert nur einige Minuten; sie bildet sich manchmal plötzlich, ohne daß man vorher einen Bogen wahrnahm. Selten sieht man zwei in einer Nacht, und viele Nordlichter zeigen keine Spur davon.

Die Krone wird schwächer, das ganze Phänomen ist nun südlich vom Zenith, immer blassere Bogen bildend, welche in der Regel verschwinden, ehe sie den südlichen Horizont erreichen. Gewöhnlich beobachtet man dies Alles nur in der ersten Hälfte der Nacht; nachher scheint das Nordlicht seine Intensität verloren zu haben, die Strahlen scheinen verwaschen, sie bilden schwache, unbestimmt begränzte Lichtschimmer, welche endlich, kleinen Cumulus ähnlich, auf dem Himmel gruppirt sind. — Allmälig erscheint die Morgenröthe, die Erscheinung wird immer schwächer und endlich ganz unsichtbar.

»Manchmal sieht man die Strahlen noch, wenn der Tag schon angebrochen, wenn es schon so hell ist, daß man lesen kann; dann aber verschwinden sie schnell, oder sie werden vielmehr um so bestimmter, je mehr die Helligkeit zunimmt, sie nehmen eine weißliche Farbe an und vermischen sich so mit den Cirrostratus, daß man sie nicht mehr von diesen Wolken unterscheiden kann.«

Dies ist die Erscheinung des Nordlichts, wenn sie sich in ihrer ganzen

Pracht entwickelt, aber, mag nun der Zustand der Atmosphäre, oder mögen die Umstände, welche die Erscheinung veranlassen, nicht immer ganz günstig seyn, ein vollständiges Nordlicht wird selbst in den Polargegenden nur selten beobachtet. Bald ist die Krone, bald sind die Bogen unvollständig; oft wird das Licht durch Wolken aufgefangen, welche auf mannigfache Weise die regelmäßige Gestalt des Nordlichts modificiren. Man bemerkt alsdann nach Norden hin nur ein ungewöhnliches Licht; allein es ist verschwommen, die Erscheinung ist undeutlich.

Aehnliche Erscheinungen sind von Seefahrern auch in den Polargegenden der südlichen Hemisphäre beobachtet worden. Man kann sie Südlichter nennen.

Digitized by Google

Nachträge.

Digitized by Google

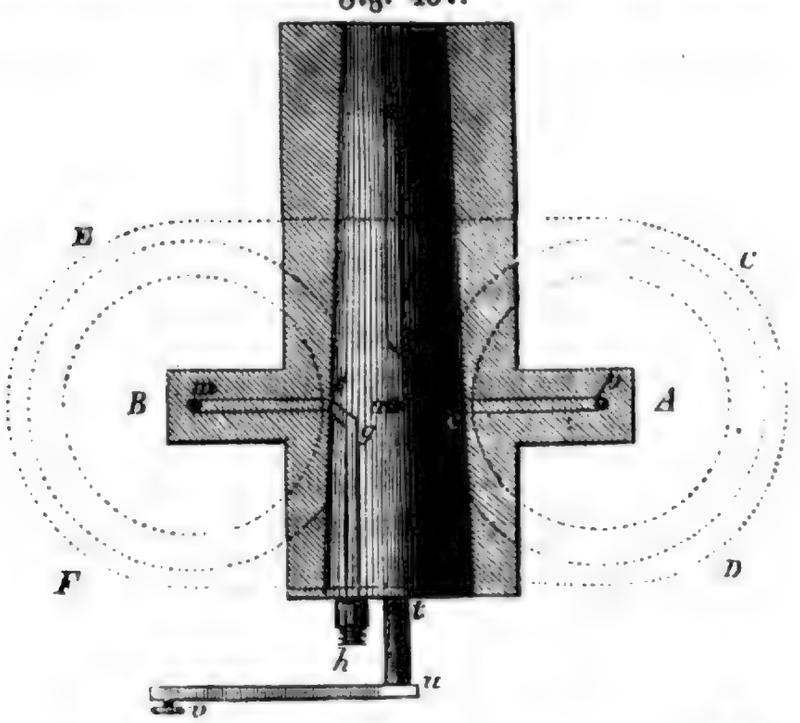
Der Graßmannſche Hahn für zweiſtiefelige Luftpumpen.

Auf S. 148 des erſten Bandes wurde die Einrichtung des Babinet'ſchen Hahnes beſchrieben, deſſen Wirkung darin beſteht, daß der ſchädliche Raum, welcher ſich bei der gewöhnlichen Einrichtung der Luftpumpen mit Luft von der Dichtigkeit der Atmoſphäre füllt, nur noch verdünnte Luft enthält, daß alſo mit Hülfe deſſelben eine viel weiter gehende Verdünnung möglich wird als ohne denſelben.

Schon im Jahre 1819 hat aber Profeſſor Graßmann einen Hahn erdacht und im 65. Bande von Gilberts Annalen beſchrieben, welcher denſelben Zweck auf eine ſehr einfache Weiſe erfüllt. Nach dieſem Principe ſind in mehreren der ausgezeichnetſten Werkſtätten von Berlin viele treffliche Luftpumpen conſtruirt worden; trotzdem aber findet man dieſe Einrichtung außer dem erwähnten Bande von Gilbert's Annalen nur noch in der erſten Auflage von Mitſcherlichs Lehrbuche der Chemie beſchrieben.

Die Einrichtung des Hahns iſt aus Fig. 457 zu erſehen. *CDEF* iſt

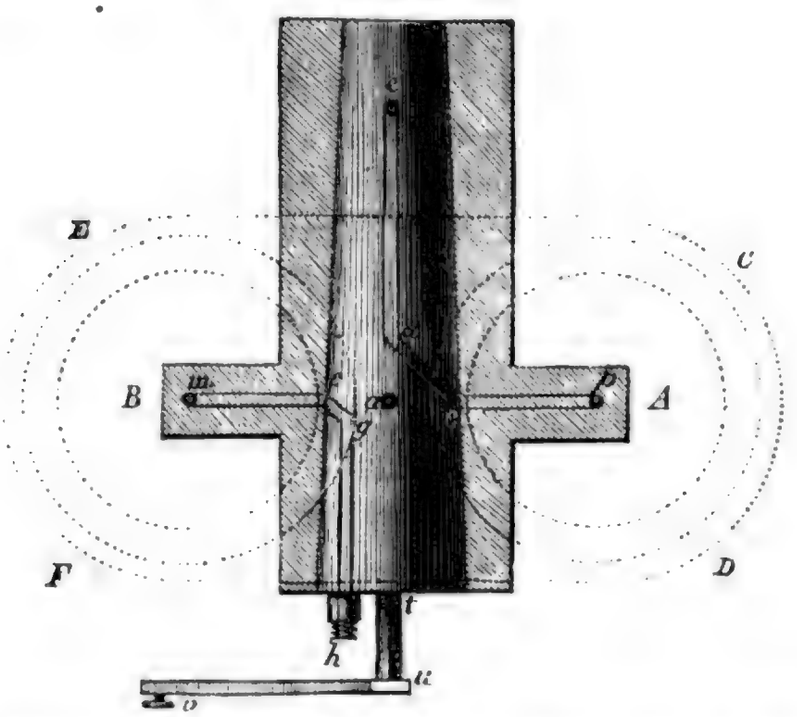
Fig. 457.



die Bodenplatte, worauf die Ansätze zum Ansetzen der Stiefel befindlich sind. Vom Boden des Stiefels *A* geht ein Kanal zuerst vertikal herunter, dann aber horizontal von *p* nach *c*, wo er an den Hahn stößt; eben so ist es auf der andern Seite; vom Boden des Stiefels *B* geht ein Kanal zuerst vertikal herunter, dann horizontal von *m* nach *f*. Der Hahn selbst ist dreifach durchbohrt. Ein Kanal im Hahn geht bei der Stellung, welche die Figur darstellt, von *e* vertikal herunter, dann in der Richtung der Axe horizontal fort bis *d*, und dann von *d* bis *c*; ein zweiter Kanal führt von *f* nach *g* und von *g* nach *h*, ein dritter endlich erscheint in unserer Figur bei *a* ganz verkürzt, er geht in der Mitte zwischen *c* und *f* rechtwinkelig zu der Ebene der Kanäle *edc* und *fgh* durch den Hahn durch.

Unsere Figur zeigt die Stellung des Hahns, wie sie sein muß, wenn der

Fig. 458.



Kolben im Stiefel *A* im Aufsteigen ist. Die Luft geht aus dem Recipienten über *e*, *d*, *c* und *p* in den Cylinder *A*, auf der andern Seite wird durch den niedergehenden Kolben die Luft aus dem Cylinder *B* durch den Kanal *mfgh* ausgetrieben.

Denken wir uns zuerst den Kanal *a* ganz weg. Wenn man, nachdem der Kolben in *B* unten, der in *A* aber oben angekommen ist, den Hahn dreht, und zwar so, daß der Handgriff bei *v*, welcher jetzt nach der linken Seite steht, nach der rechten zu liegen kommt, so wird der Kanal *hgf* im Hahn so zu liegen kommen, daß er an *pc* stößt, der Kanal *edc* aber wird an *mf* stoßen, so daß, wenn nun der Kolben in *B* auf-, der in *A* aber

niedergeht, die Luft aus dem Recipienten nach *B* gelangt, die in *A* enthaltene aber ausgetrieben wird.

Wenn bei der Stellung des Hahns in unsrer Figur der Kolben in *B* unten angekommen ist, so befindet sich im Kanal *mf* und in den unvermeidlichen Zwischenräumen unter dem Kolben noch Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre, und wenn man den Hahn dann um 180° dreht, so verbreitet sich diese Luft in der schon verdünnten des Recipienten, so daß durch die im schädlichen Raume zurückbleibende Luft eine sehr bedeutende Verdünnung unmöglich gemacht wird.

Wenn nun aber der Kanal *a* vorhanden ist, so wird, wenn man den Hahn aus der Stellung unsrer Figur herausdreht, nach ¼ Umdrehung dieser Kanal *a* horizontal stehend von *f* nach *c* gehen, so daß nun die beiden Stiefel mit einander in Verbindung stehen; die in *mf* abgesperrte Luft wird sich also nun durch *a* in den Cylinder *A* verbreiten, welcher verdünnte Luft enthält, so daß nun im schädlichen Raume *mf* nicht Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre, sondern bedeutend verdünntere Luft zurückbleibt.

Das Wesentliche der Einrichtung besteht also darin, daß, wenn der Kolben in einem Cylinder unten angekommen ist, nicht gleich der schädliche Raum unter demselben mit dem Recipienten in Verbindung gebracht wird, sondern erst mit dem andern Cylinder, in welchem der Kolben oben ist, und welcher Luft enthält, welche eben so verdünnt ist wie die im Recipienten; dadurch wird aber die Luft im schädlichen Raume fast bis zu demselben Grade verdünnt, sie kann also kaum noch einen merklichen Nachtheil bringen.

Man hat mich darauf aufmerksam gamacht, daß die auf S. 148 gegebene Beschreibung des Babinet'schen Hahnes nicht ganz verständlich sey, was zum Theil daher rühren mag, daß in der Beschreibung die Buchstaben *e* und *c* verwechselt sind; ich benutze die Gelegenheit noch einige Bemerkungen über die Wirkungsweise des Babinet'schen Hahnes beizufügen, die wohl jede Unklarheit heben werden.

Fig. 459.

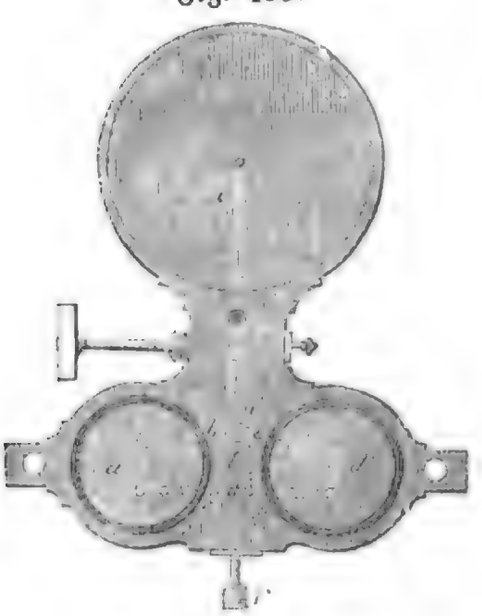


Fig. 460.

Fig. 461.

Wenn der Hahn die Stellung Fig. 460 hat, so steht der Kanal *t* im

Hahn wagerecht und verbindet die Kanäle bei *b* und *e*, ſo daß die Luft aus dem Recipienten, welche durch den Kanal *u* in den Hahn eintritt, ſich nach der rechten und linken Seite verbreiten kann. In dieſer Stellung, in welcher der Hahn gar keine beſondere Wirkung hervorbringt, bleibt er bis zu der ſo möglichen Gränze der Verdünnung.

Fig. 461.

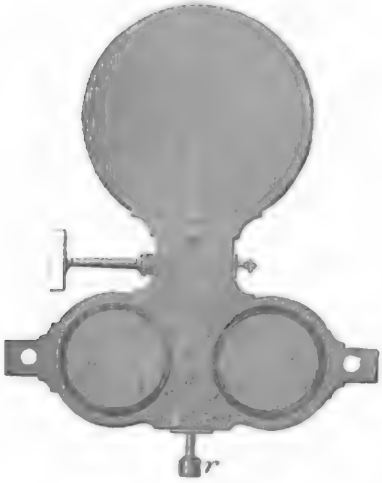


Fig. 462.

Fig. 463.

Nun wird er in die Stellung Fig. 463 gebracht. Es ſind jetzt beſtändig die zwei Cylinder durch den Kanal *s* verbunden, aus dem Recipienten kann aber die Luft nur in den Cylinder *a* treten.

Wenn der Kolben in *a* niedergeht, ſo wird bei der erſtern Stellung des Hahnes die Luft mehr und mehr comprimirt, bis ſie endlich das Ventil im Kolben hebt und entweicht; es bleibt dann natürlich Luft von der Dichtigkeit der Atmoſphäre im ſchädlichen Raume unter dem Kolben in *a* zurück.

Wenn aber der Hahn die Stellung Fig. 463 hat, ſo wird beim Niedergange des Kolbens in *a* die verdünnte Luft unterhalb deſſelben nicht comprimirt, ſondern in den andern Cylinder hinübergeſchafft. Beginnt nun der Kolben in *d* niederzugehen, ſo wird das Bodenventil in *d* geſchloſſen, und im ſchädlichen Raume von *a* bleibt nur verdünnte Luft zurück.

Der Hauptunterſchied zwiſchen dem Graßmann'ſchen und dem Babinet'ſchen Hahn beſteht alſo darin, daß der erſtere fortwährend in Wirkſamkeit iſt, während die des letzteren erſt beginnt, wenn eine beſtimmte Gränze der Verdünnung erreicht iſt; ferner daß bei der Graßmann'ſchen Einrichtung beide Stiefel von Anfang an abwechſelnd evacuirend wirken, während beim Babinet'ſchen Hahn die Luft aus dem Recipienten in den einen Stiefel und aus dieſem dann in den andern hinübergebracht wird.

Lichtenbergiſche Figuren.

Die im zweiten Theile auf S. 104 erwähnten Lichtenbergiſchen Figuren ſind hier abgebildet. Lichtenberg ſetzte, um dieſe Figuren zu erhalten, ein Metallrohr auf die Harzplatte und ließ auf dieſes den elektriſchen Funken ſchlagen. Ein poſitiver Funke liefert eine ſtrahlende Figur Fig. 464,

Fig. 464.

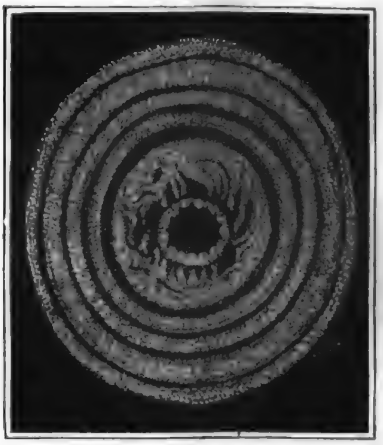
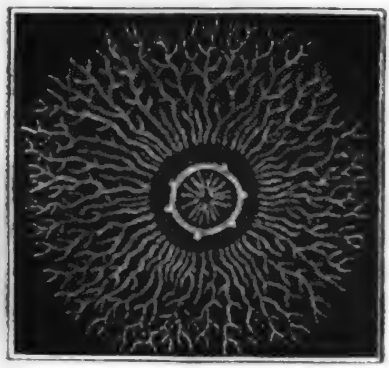


Fig. 465.



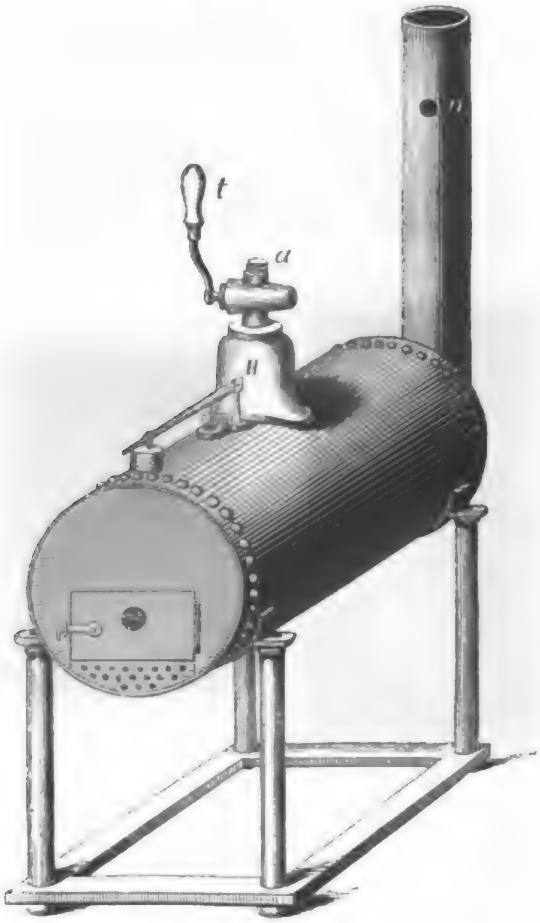
ein negativer eine ringförmige, Fig. 465. Das anzuwendende Pulver muß recht fein ſeyn und wird am beſten durch recht feine Leinwand durchgebeutelt. Das Pulver wird durch Reibung an den Oeffnungen der Leinwand elektriſch und ſetzt ſich auf denjenigen Stellen der Harztafel ab, welche die entgegengeſetzte Elektricität haben.

Die Hydroelektriſirmaſchine.

Schon auf S. 82 des zweiten Bandes war von den außerordentlichen elektriſchen Wirkungen die Rede, welche durch den aus den engen Oeffnungen eines Dampfkeſſels ausſtrömenden Dampf hervorgebracht werden, erſt jetzt aber bin ich im Stande eine genauere Beſchreibung einer

Hydroelektriſirmaſchine mittheilen zu können. Fig. 466 ſtellt einen ſolchen Apparat dar, wie ihn Profeſſor Eiſenlohr in England hat anfertigen

Fig. 466.



laſſen. Der Dampfkeſſel, welcher 44 Centimeter im Durchmeſſer hat und 96 Centimeter lang iſt, ruht auf vier Glasfüßen. Die Heizung iſt inwendig in der Weiſe wie bei den Dampfkeſſeln auf Dampfſchiffen angebracht, wie man dies aus dem Durchſchnitt des Keſſels Fig. 467 erſehen kann.

Fig. 467.

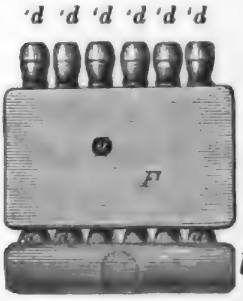
Oben auf dem Dampfkeſſel befindet ſich ein Hut, auf welchem ein kurzes durch einen Hahn verſchließbares Meſſingrohr befeſtigt iſt; auf dieſes kurze Rohr können dann die Ausſtrömungsöffnungen aufgeſchraubt werden, die alsbald näher beſchrieben werden ſollen.

Vor dem Hute ſieht man ein Sicherheitsventil, deſſen Gewicht verſchiebbar iſt und welches ſo weit

herausgerückt werden kann, daß der Dampf einen Druck von 90 Pfund auf den Quadratzoll ausüben muß, um das Ventil zu heben.

Auf der abgewandten Seite des Dampfkessels ist ein Glasrohr angebracht, welches oben und unten mit dem Kessel in Verbindung steht, so daß man an diesem Rohre gerade so wie bei Locomotiven den Wasserstand sehen kann.

Fig. 468.



In Fig. 468 ist der Apparat mit den Ausströmungsöffnungen abgebildet, welcher auf den Dampfkessel aufgeschraubt wird, und zwar von oben gesehen. Bei *a* Fig. 466 wird ein gußeisernes Rohr *bc* von ungefähr 24^{cm} Länge und 5^{cm} Durchmesser befestigt. Aus diesem Rohre tritt dann der Dampf durch 6 horizontale Röhren *d d'* aus, welche durch einen Kasten von Messingblech hindurchgehen, welcher mit kaltem Wasser gefüllt wird, so daß ein Theil des durch die Röhren strömenden Dampfes condensirt wird, was die Wirkung sehr verstärkt.

Auf eine Oeffnung *o* im obern Deckel des Kastens *F* wird ein Messingrohr aufgesetzt, welches bei *n* Fig. 466 in den Schornstein führt und durch welches die im Kasten *F* gebildeten Dämpfe entweichen.

Fig. 469.

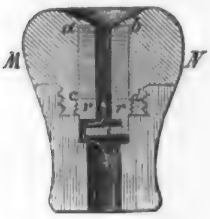


Fig. 469 stellt die in Fig. 468 mit *d'* bezeichneten Ausströmungsöffnungen im Durchschnitt und zwar in ½ der natürlichen Größe dar. An das Ende des Rohres wird ein Messingstück *MN* eingeschraubt, in welchem Holzpflock *abcd* steckt, welcher das Ende der Ausströmungsröhre bildet. Dieser der Länge nach durchbohrte Holzcylinder wird durch einen in das Messingstück *MN* eingeschraubten kurzen Messingcylinder *r* an seiner Stelle festgehalten. An diesem gleichfalls durchbohrten Cylinder *r* ist vorn vor seiner Oeffnung eine Messingplatte so angebracht, daß der Dampf den durch den Pfeil bezeichneten Umweg machen muß, um in die Ausströmungsöffnung zu gelangen.

Wenn der Apparat Fig. 468 auf den Dampfkessel aufgeschraubt ist und der Dampf die nöthige Spannkraft hat, wird durch eine Viertelumdrehung des Handgriffs *t* Fig. 466, den Absperrhahn geöffnet, der Dampf strömt mit Gewalt aus den sechs Oeffnungen hervor, und alsbald wird auch der Kessel elektrisch. Der entweichende Dampf hat die entgegengesetzte Elektricität wie der Kessel; um aber eine möglichst starke Wirkung zu erhalten, muß die Elektricität des Dampfes möglichst abgeleitet werden; dies geschieht dadurch, daß man in den Dampfstrom eine Reihe von Metallspitzen

ſtellt, welche an einem meſſingenen Stabe befeſtigt mit dem Boden in leitender Verbindung ſtehen. Dieſer Stab ſteht auf einem Glasfuße, ſo daß man ihn iſoliren kann, um zu zeigen, daß der Dampf in der That die entgegengeſetzte Elektricität des Keſſels hat.

Mit dieſer Hydroelektriſirmaſchine läßt ſich eine Batterie von 36 Quadratfuß Oberfläche in Zeit von 30 Sekunden vollſtändig laden.

Zu wiſſenſchaftlichen Verſuchen über die Natur der hier erzeugten Elektricität hat man das Maximum der Wirkung gar nicht nöthig, man braucht nur eine einzige Ausſtrömungsöffnung anzuſchrauben. Um dieſe anzuſchrauben, gehen bei dem beſchriebenen Apparate auf der rechten und linken Seite des Hutes *H* noch Röhren mit Hähnen hervor, die in unſrer Zeichnung weggelaſſen ſind. Man könnte dieſe Ausſtrömungsröhren wohl auch ſo einrichten, daß man ſie bei *a* aufſchrauben könnte.

Daß die Elektricität hier wirklich durch die Reibung des Dampfes an den Wänden des Ausflußkanals und nicht etwa durch die Dampfbildung erzeugt wird, geht daraus hervor, daß augenblicklich alle Elektricität verſchwindet, wenn man das Sicherheitsventil öffnet, obgleich die Dampfbildung ununterbrochen fortdauert.

Zur Erzeugung der Elektricität iſt es weſentlich, daß ſchon condenſirte Waſſertheilchen durch den ausſtrömenden Dampf mit durch die Ausſtrömungsröhren durchgetrieben werden, deshalb das Condenſationsapparat *F* Fig. 468. Wenn die Ausſtrömungsröhren lang genug ſind, iſt kein beſonderer Abkühlungsapparat nöthig.

Wenn die Dampfmündung durch eine Holzröhre gebildet wird, wie es oben angegeben wurde, ſo iſt der Keſſel negativ, der Dampf poſitiv elektriſch; daſſelbe iſt der Fall bei Anwendung einer metallenen oder gläſernen Dampfmündung. Wendet man ſtatt der hölzernen eine elfenbeinerne Röhre an, ſo zeigt der Keſſel kaum Spuren einer Ladung.

Wenn man vor der Dampfmündung etwas Terpentinöl in die Ausſtrömungsröhre bringt, ſo wird der Keſſel poſitiv und der Dampf negativ elektriſch. Um das Terpentinöl oder auch andere Flüſſigkeiten bequem in die Ausſtrömungsröhre einbringen zu können, wendet man eine Vorrichtung an, welche durch Fig. 470 angedeutet iſt. *a b* iſt ein Stück des Ausſtrömungsrohres; aus demſelben geht eine Röhre vertikal in die Höhe, welche durch einen Hahn geöffnet und geſchloſſen werden kann; über dieſem Hahn befindet ſich eine trichterförmige Erweiterung, in welche die Flüſſigkeit eingegoſſen wird; ſobald man den Hahn öffnet, fließt die Flüſſigkeit aus dem Trichter in das Ausſtrömungsrohr herab.

Fig. 470.

Wenn durch Terpentinöl der Keſſel poſitiv gemacht worden iſt, ſo ver-

liert ſich dieſer Zuſtand bald wieder, wenn nicht neues Terpentinöl eingebracht wird, und geht in den negativen über, ſobald alles Terpentinöl weggeriſſen und verdampft iſt. Fette Oele, wie Baumöl, bringen dieſelbe Wirkung hervor, nur iſt ihre Wirkung bleibender, weil ſie nicht ſo flüchtig ſind. Ein Holzfutter, durch welches einmal ein fettes Oel durchgeſtrömt iſt, iſt unbrauchbar, um den kräftigen negativen Zuſtand des Keſſels wieder zu erzeugen, wie er entſtehen würde, wenn der Dampf durch eine nicht fette Holzröhre ausſtrömte.

Bringt man durch den Hahn Fig. 470 eine Salzlöſung in die Ausſtrömungsröhre, ſo hört augenblicklich alle Elektricitätsentwicklung auf.

Alle dieſe Umſtände beweiſen, daß nur in der Reibung der ausſtrömenden Waſſer und Dampftheilchen an den Röhrenwänden und nicht in der Veränderung des Aggregatzuſtandes die Urſache der Elektricitätsentwickelung zu ſuchen ſey.

Die atmoſphäriſche Eiſenbahn.

Eine höchſt ſinnreiche Anwendung des Drucks der atmoſphäriſchen Luft gegen einen luftverdünnten Raum, welche gegenwärtig die allgemeine Aufmerkſamkeit auf ſich zieht, iſt die ſogenannte atmoſphäriſche Eiſenbahn.

In der Mitte zwiſchen den Schienen der Bahn läuft nämlich ihrer ganzen Länge nach eine gußeiſerne Röhre her. In dieſer Röhre befindet ſich ein luftdicht ſchließender Kolben, ſo daß wenn auf der einen Seite deſſelben die Luft aus der Röhre ausgepumpt wird, der auf der andern Seite dieſes Kolbens wirkende Druck der Luft ihn forttreibt.

Das Auspumpen der Luft aus der Röhre geſchieht durch eine ſtehende Dampfmaſchine.

Der Kolben, welcher durch den Druck der atmoſphäriſchen Luft fortgetrieben wird, zieht nun die Wagen nach ſich.

Dies wird dadurch möglich, daß der Kolben mit dem erſten Wagen durch einen Verbindungsarm zuſammenhängt. Um dieſen Verbindungsarm durchzulaſſen, iſt aber die Treibröhre oben aufgeſchlitzt und der Schlitz durch Lederklappen luftdicht verſchloſſen. Dieſe Klappen werden hinter dem Kolben geöffnet, um den Verbindungsarm durchzulaſſen, nachdem dieſer aber paſſirt iſt, werden ſie wieder geſchloſſen.

Die Figuren 471, 472 und 473 werden wohl das Prinzip dieſer Conſtruction anſcheinlich machen. Fig. 445. ſtellt einen Querdurchſchnitt der Bahn mit Treibröhre vor; man ſieht, wie die Röhre in der Mitte zwiſchen den Schienen liegt, man ſieht, wie ſie oben offen iſt. Die Lederklappe, welche den Schlitz bedecken ſoll, iſt in unſrer Zeichnung gerade in dem Momente dargeſtellt, wo ſie gehoben iſt, um den Verbindungsarm *d* durchzulaſſen; ſie iſt oben und unten mit Eiſen beſchlagen, damit ſie von ſelbſt niederfällt, wenn ſie nicht in die Höhe gehalten wird.

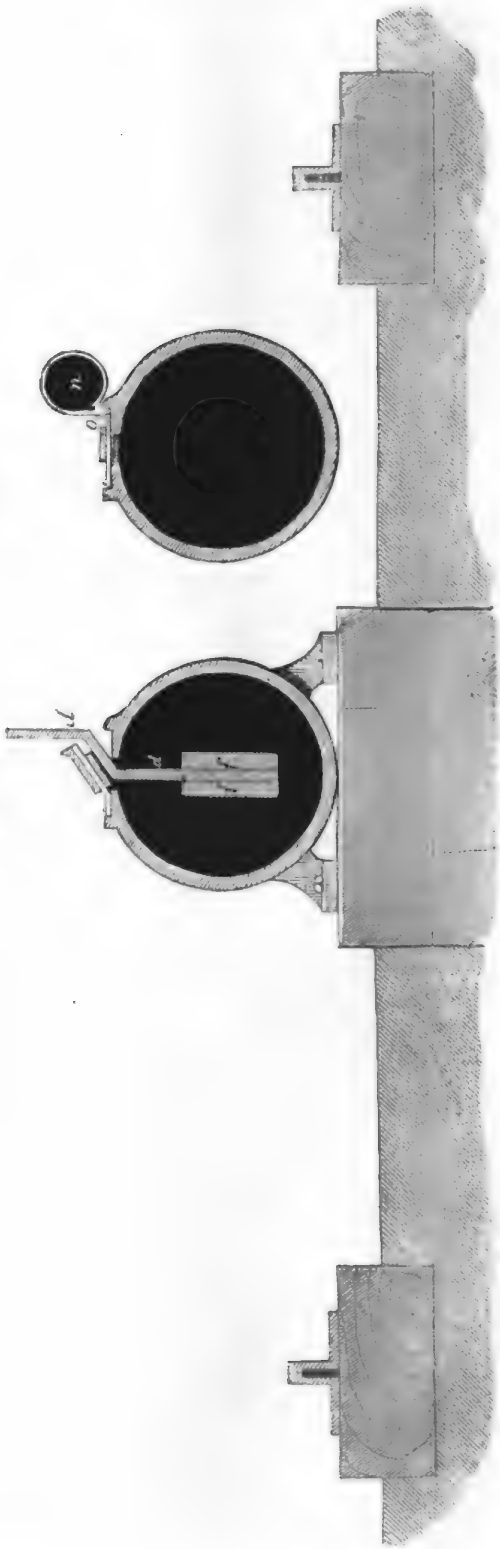
Die gußeiſerne Treibröhre hat 45 Centimeter Durchmeſſer, jedes Stück derſelben iſt 2,7 Meter lang; ſie iſt innen mit einer 2—3 Millimeter dicken Schicht von Wachs und Talg überzogen, um die Unebenheiten des Guſſes auszugleichen und die Bewegung des Kolbens zu erleichtern. Fig. 472 ſtellt den Querdurchſchnitt der Röhre dar, wie der Schlitz derſelben durch die Klappe bedeckt iſt.

Die Einrichtung des Kolbens und wie er mit dem Wagen zuſammenhängt, iſt aus dem Längendurchſchnitte Fig. 473 zu erſehen. An einem gußeiſernen Cylinder *k* ſind zwei Lederſtulpen befeſtigt, welche, wenn auf der vordern Seite des Kolbens ein verdünnter Raum erzeugt wird, durch den auf der andern Seite wirkenden Luftdruck feſt gegen die Cylinderwände angepreßt werden, ſo daß auf dieſe Weiſe der Kolben ſtets luftdicht ſchließt. An dem eigentlichen Kolben befindet ſich nun eine Stange mit zwei eiſernen Schienen *f*, von denen in unſerer Figur natürlich nur die vordere ſichtbar iſt. Zwiſchen dieſen Schienen ſind vier Rollen und der Verbindungsarm *d* befeſtigt. Der Durchmeſſer der beiden äußeren Rollen iſt kleiner als der Durchmeſſer der mittleren. Die erſten Rolle hebt die Klappe etwas in die Höhe, die zweite hebt ſie weiter, ſo daß nun der Verbindungsarm durchgehen kann. Nachdem er paſſirt iſt, ſenkt ſich die Klappe auf die dritte, dann auf die vierte Rolle, um dann wieder den Schlitz völlig zu verdecken. Eine nachfolgende Rolle *l*, welche am Wagen befeſtigt iſt, drückt dann noch die Klappe von außen feſt auf den Schlitz.

Wenn die Klappe aufliegt, ſo bildet ſich bei *o*, Fig. 472, eine Rinne, in welcher ſich eine Miſchung von Wachs und Talg befindet; eine durch Kohlen erwärmte an dem Wagen hinter der Rolle *l* befeſtigte Röhre *n*, an welcher ſich eine in die Rinne herabreichende Hervorragung befindet, bewirkt eine Schmelzung dieſer Maſſe, wodurch der vollkommne Verſchluß wieder hergeſtellt und die Triebröhre gleich wieder für die nächſte Fahrt vorbereitet iſt. Dieſe erwärmte Röhre iſt in Fig. 472 im Durchſchnitt angedeutet, in Fig. 473 aber weggelaſſen.

Fig. 472.

Fig. 471.



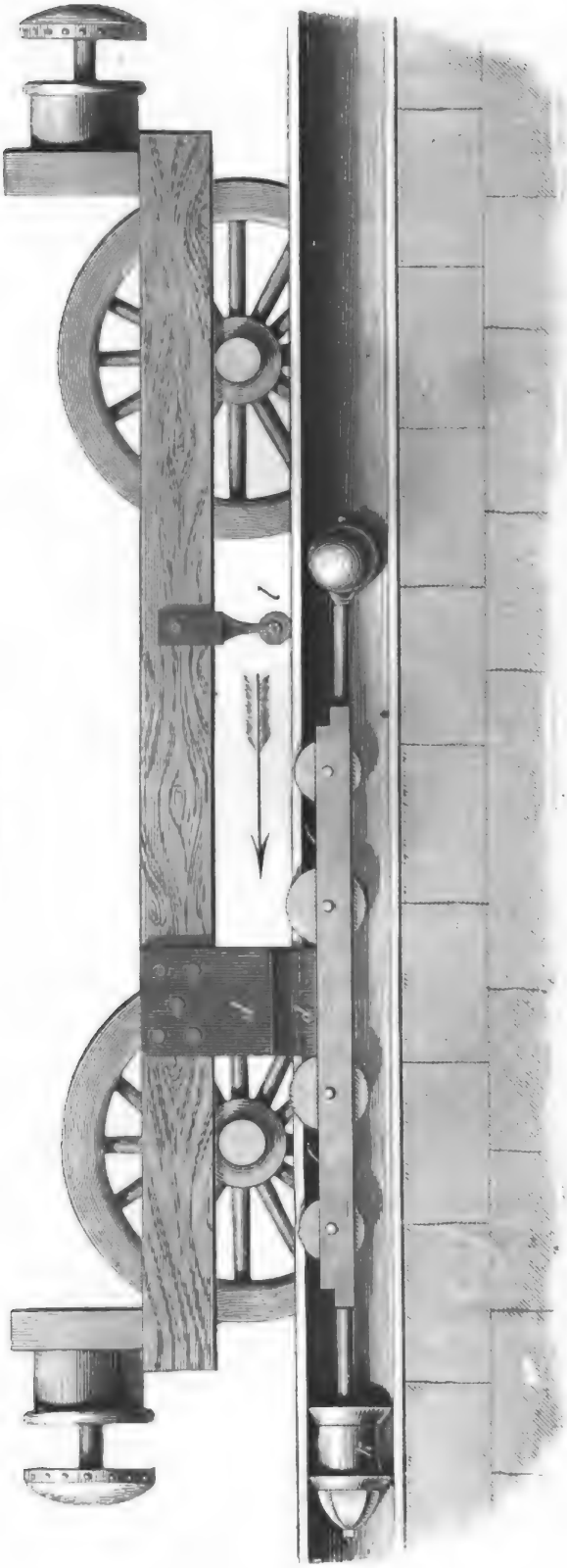


Fig. 473.

Die erste Idee der atmosphärischen Eisenbahn rührt von Pinkus her, dessen schon im Jahre 1834 gemachte Versuche jedoch die gehofften Resultate nicht gaben. Einige Jahre später griffen Clegg und Samuda die Sache wieder auf. Von ihnen rührt die eben angedeutete Construction her; sie haben schon einige Bahnen nach diesem Systeme ausgeführt und seine praktische Anwendbarkeit dargethan.

Ueber die Luftverdünnung in der Treibröhre wurden auf der Bahn von Kingstown nach Dalbey, welche eine Fortsetzung der gewöhnlichen Eisenbahn von Dublin nach Kingstown ist, Versuche angestellt, welche ergaben, daß in einem Glasrohre, dessen oberes Ende mit der Treibröhre communicirt, das Queckſilber bis zu einer Höhe von 25 Zoll, also nur 3 Zoll weniger gehoben werden kann, als der mittlere Barometerstand beträgt. Es ergab sich aus dieser Höhe der Queckſilbersäule, daß der Kolben auf der einen Seite nur einen Druck von $2\frac{1}{2}$ Pfund auf den Quadratzoll auszuhalten hatte, während auf der andern Seite die atmosphärische Luft mit einem Drucke von 15 Pfund auf den Quadratzoll drückt; die Triebkraft betrug also $12\frac{1}{2}$ Pfund auf den Quadratzoll, und da die Oberfläche des Kolbens 176 Q.-Zoll beträgt, so ist die ganze Kraft, mit welcher der Kolben fortgedrückt wird, 2200 Pfund.

Im Allgemeinen hat man aber diese Kraft zum Fahren nicht nöthig, sondern es reicht schon hin, wenn die Luft so weit verdünnt wird, daß die im Barometerrohre aufgesaugte Queckſilbersäule 15 Zoll beträgt, welche eine bewegende Kraft von mehr als 1300 Pfund liefert.

Die wesentlichsten Vortheile der atmosphärischen Eisenbahn bestehen in einer größeren Sicherheit und der Möglichkeit weit bedeutendere Steigungen zu überwinden, als dies bei den gewöhnlichen Eisenbahnen irgend geschehen kann.

Bis jetzt sind atmosphärische Eisenbahnen nur auf kürzere Strecken ausgeführt, ob sie sich auch auf größere Entfernungen mit Vortheil anwenden lassen, ob sie in pecuniärer Hinsicht vortheilhafter sind als gewöhnliche, darüber läßt sich schwer a priori entscheiden, man muß es der Erfahrung anheimstellen.

Berichtigung.

In der Fig. 329 auf Seite 279 des erſten Bandes iſt die Richtung der Pfeile innerhalb der kleinen Klammer falſch, ſie muß gerade die entgegengeſetzte von der in der großen Klammer ſeyn.

Alphabetisches Inhaltsverzeichniß.

A.

	Bd.	Seite
Aberration, sphärische . . .	I	405
Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom	II	167
Absorption der Gase . . .	I	165
» des Lichtes in doppeltbrechenden Krystallen .	I	239
Absorption der Wärmestrahlen	II	420
» der Wärmestrahlen durch die Atmosphäre . .	II	511
Abweichung, magnetische . .	II	13
Achromatismus	I	421
» des Auges .	I	435
Actinometer	II	517
Action, bestimmte elektrolytische	II	160
Adhäsion	I	61
Adhäsion zwischen flüssigen u. festen Körpern	I	103
Aequator, magnetischer . .	II	17
Aequivalent, elektrochemisches	II	192
Aggregatzustände	I	12
Alcarazzas	II	367
Alkoholometer	I	92
Amperisches Gesetz . . .	II	168
» Gestell . . .	II	209
Amperische Theorie . . .	II	218
Anelektrische Körper . . .	II	62
Anion	II	164
Anode	II	164
Aräometer	I	86
Archimedisches Princip . .	I	79
Armaturen, magnetische . .	II	58
Atom	I	7
Atwoodsche Fallmaschine . .	I	177
Auge	I	426
Ausdehnbarkeit	I	8
Ausdehnung durch Wärme .	II	264
» lineare	II	269
» körperliche . . .	II	270
» fester Körper . .	II	271
« flüssiger Körper .	II	281
» gasförmiger Körper	II	291
Ausflußgeschwindigkeit . . .	I	222
Ausflußmenge	I	227
Auslader, elektrischer . . .	II	94
« Henley'scher . . .	II	98
Axen, krystallographische . .	I	64
» optische	I	536
» secundäre der Linsen .	I	402

B.

	Bd.	Seite
Babinets Hahn	I	147
Barometer	I	119
» periodische Schwankungen desselben	II	528
Barometerprobe	I	146
Barometrische Höhenmessungen	I	133
Batterie, elektrische . . .	II	98
Beharrungsvermögen . . .	I	14
Beugung des Lichtes . . .	II	485
Bewegung, gleichförmige . .	I	173
» beschleunigte . .	I	174

	Bd.	Seite
Bewegung, verzögerte	I	174
Biflarmagnetometer	II	49
Bilder ebener Spiegel	I	354
» der Concavspiegel	I	367
» Converspiegel	I	370
» der Linsen	I	402
» daguerr'sche	I	618
Binden der Wärme beim Schmelzen	II	310
Binden der Wärme beim Verdampfen	II	357
Blasebalg	I	252
Blitz	II	612
Blitzableiter	II	617
Bohnenbergers Elektroskop	II	135
Boussole	II	15
Brechung des Lichtes	I	371
» der Wärmestrahlen	II	428
» Erklärung durch die Vibrationstheorie	I	483
Brechung, doppelte	I	530
Brechungsexponent	I	376
» der Gase	I	389
Brechungsgesetz	I	372
Brechungsvermögen	I	388
Breguets Thermometer	II	280
Brennlinie	I	371
Brennpunkt der Hohlspiegel	I	365
» der Linsen	I	399

C.

	Bd.	Seite
Calmen	II	544
Calorimeter	II	397
Calorimotor, Hare's	II	140
Camera lucida	I	451
» obscura	I	452
Capacität für die Wärme	II	396
Capillarität	I	96
Centralbewegung	I	185
Centrifugalkraft	I	190
Chemische Wirkungen d. Säule	II	148
» » des Lichtes	I	616
Circularpolarisation	I	597
« in Flüssigkeiten	I	612
Cirrus	II	576
Coercitivkraft	II	11
Cohäsion	I	13
Combinationstöne	I	319
Communicirende Röhren	I	77
Compas	II	16
Compensationspendel	II	279
Compensationsstreifen	II	279
Complementäre Farben	I	412
Concavspiegel	I	363
Condensation der Dämpfe	II	340
Condensator, elektrischer	II	104
Condensator der Dampfmaschinen	II	372
Conische Refraction	I	560
Constante Batterie v. Becquerel	II	140
» » v. Daniel	II	140
» » v. Grove	II	142
» » v. Bunsen	II	143
» » Theorie derselben	II	161
Contactelektricität	II	117
Contacttheorie	II	163
Continentalklima	II	485
Contractio venae	I	228
Contrastfarben	I	449
Converlinsen	I	394
Converspiegel	I	363
Cumulus	II	575

D.

	Bd.	Seite
Daguerreotyp	I	618
Daltonsches Gesetz	II	328
Dämpfe im leeren Raume	II	313
» » lufterfüllten Raume	II	341
Dampfelektrisirmaschine	II	648
Dampfmaschine	II	82
Daniels Hygrometer	II	560
Dauer des Lichteindrucks	I	445
Declination, magnetische	II	13
Diathermansie	II	425
Dichtigkeit	I	18
» der Luft	II	301
» der Gase	II	303
» des Wasserdampfes	II	330
» verschiedener Dämpfe	II	336

	Bd.	Seite
Dichtigkeitsmaximum des Waſſers	II	287
Differenzialbarometer	I	135
Differenzialthermometer	II	415
Diffuſion der Gaſe	I	170
» der Wärmeſtrahlen	II	430
Disperſion	I	417
Drehungsgeſetz des Windes	II	457
Drehwage, Coulomb'ſche	II	430
Druck, hydroſtatiſcher	I	72
» der Luft	I	116
Dualiſten	II	74

E.

Echo	I	285
Einfallsebene	I	352
Einfallsloth	I	352
Einfallswinkel	I	352
Elaſticität	I	56
» der Flüſſigkeiten	I	322
» der Luft	I	115
Elaſticitätsoberfläche	I	544
Elektricität	II	61
» poſitive u. negative	II	64
» gebundene	II	92
» durch Wärme	II	112
» durch Druck	II	112
» atmoſphäriſche	II	610
Elektriſirmaſchine	II	77
Elektriſche Flüſſigkeiten	II	65
» Funken	II	67
» Piſtole	II	67
Elektrochemiſche Theorie	II	158
Elektrolyte	II	156
Elektrolytiſches Geſetz	II	160
Elektromagnet	II	197
Elektromotoriſche Kraft	II	119
Elektrophor	II	73
Elektroſkop	II	62
» v. Bohnenberger	II	120
» verbeſſert v. Fechner	II	135
Emanationstheorie	I	469
Emiſſionstheorie	I	469
Endosmoſe	I	111
Excentriſche Scheibe	II	381
Expanſionskraft	I	13
Extraordinärer Strahl	I	535

F.

Fallgeſetze	I	175
Fallmaſchine, Atwoodſche	I	177
Farbenſpectrum	I	407
Farbenzerſtreuung	I	418
Farbenringe, Nobiliſche	II	155
» Newtonſche	I	501
» 1ariger Kryſtalle	I	575
» 2ariger »	I	585
Farben, dünner Schichten	I	501
» dünner Gypsblättchen	I	564
» complementäre	I	412
» des Himmels	II	588
Fernrohr	I	463
Fernſichtigkeit	I	432
Feſtigkeit	I	59
Feuerſpritze	I	159
Fiſche, elektriſche	II	257
Flaſchenzug	I	33
Flaſche, Leidner	II	97
» Lane's	II	101
Focus	I	365
Fraunhoferſche Linien	I	415
Franklinſche Tafel	II	93
Fresnelſche Linſen	I	405
Fresnelſches Parallelopiped	I	605

G.

Galvanismus	II	115
Galvanometer	II	169
Galvanoplaſtik	II	153
Gaſometer	I	248
Gebläſe	I	250
Gedeckte Pfeifen	I	286
Geſchwindigkeit	I	173
Geſchwindigkeit des Schalles in der Luft	I	282
» in Flüſſigkeiten	I	322
» in feſten Körpern	I	329
Geſchwindigkeit des Lichtes	I	349
» der Elektricität	II	103

	Bd.	Seite
Gewitter	II	611
Gewicht	I	16
» specifisches	I	18
Gewichtsthermometer	II	284
Gitter, Beugungs=	I	499
Gletscher	II	506
Gleichgewicht	I	47
Glühen der Metalldrähte durch galvanische Ströme	II	147
Goniometer	I	357
Gränzwinkel	I	375
H.		
Haarröhrchen	I	96
Hagel	II	584
Halbschatten	I	347
Hebel	I	34
Heber	I	153
Heliometer, Pouillets	II	112
Heronsball	I	154
Heronsbrunnen	I	155
Höfe	II	603
Hohlprisma	I	383
Hohlspiegel	I	363
Hochdruckmaschine	II	389
Hufeisenmagnet	II	59
Hydrophan	I	10
Hydrostatik	I	70
Hydraulische Presse	I	161
Hydraulischer Widder	I	246
Hygrometer	II	556
I.		
Idioelektrische Körper	II	62
Inclination	II	16
Induction durch elektr. Ströme	II	230
» » » Magnete	II	236
Intensitätsbousole	II	25
Interferenz der Schallwellen	I	316
» des Lichtes	I	471
Interferenzstreifen	I	472
Interferenzprisma	I	473
Interferenzspiegel	I	472
Irradiation	I	440
Irrlicht	II	605
Isochimenen	II	483
Isolatoren	II	63
Isokliniſche Linien	II	626
Isotheren	II	483
Isothermen	II	478
K.		
Kältemischungen	II	311
Kathetometer	II	283
Kation	II	164
Keil	I	30
Kehlkopf	I	334
Kette, galvanische	II	137
» » einfache	II	139
» » zusammengesetzte	II	137
» thermoelektrische	II	251
Klangfiguren	I	268
Kohlensäure, flüssige	II	341
» feste	II	366
Krystallisation	I	62
Krystallsysteme	I	64
Krystalle, thermoelektrische	II	114
» doppeltbrechende 1arige	I	539
» » 2arige	I	552
Kryophor	II	365
Küstenklima	II	485
Kurzsichtigkeit	I	432
L.		
Ladungssäule	II	136
Latente Wärme der Flüssigkeiten	II	310
» » der Dämpfe	II	357
Leidenfrostscher Tropfen	II	355
Leidner Flasche	II	97
Leiter der Elektricität	II	62
Leitungsfähigkeit, elektrische, der Metalle	II	186
» der Flüssigkeiten	II	187
Leitung der Wärme	II	438
Licht, elektrisches	II	105
Lichtbogen zwischen Kohlenspitzen	II	147

Digitized by Google

	Bd.	Seite
Linsen	I	394
Linsen, Sammel=	I	394
» Zerstreuungs=	I	394
» achromatische	I	424
Liter	I	622
Locomotive	II	390
Longitudinalschwingungen	I	312
Luftballon	I	164
Luftdruck	I	116
Luftpumpe	I	141
Luftspiegelung	II	591
Lufthermometer	II	293
Luppe	I	453

M.

Magdeburger Halbkugeln	I	148
Magnete, natürliche	II	1
» künstliche	II	53
Magnetismus, Gesetze u. Theorie	II	27
Magnetisirung durch Streichen	II	53
» durch elektr. Ströme	II	195
Magnetische Wirkung d. Ströme	II	166
Magnetnadel	II	11
Magnetometer	II	20
Mariotte'sches Gesetz	I	128
Maaßflasche	II	101
Masse	I	17
Maximumthermometer	II	459
Melloni's Apparat	II	416
Messung der Spannkraft der Dämpfe	II	317
Messung galvanischer Ströme		
» nach absolutem Maaß	I	189
Metacentrum	I	84
Meteorsteine	II	608
Minimumthermometer	II	459
Mikrometer, Rochons	I	549
Mikroskop, einfaches	I	453
» zusammengesetztes	I	457
Mittellinie, magnetische	II	2
Mörser, elektrischer	II	100
Molekül	I	7
Molekularkräfte	I	13
Moment, statisches	I	36
Moment der Trägheit	I	202
Moussons	II	544
Multiplicator	II	169
» Theorie desselben	II	185

N.

Nachbilder, farbige	I	446
Nadel, elektrische	II	61
Nebel	II	573
Nebensonnen	II	603
Niederdruckmaschine	II	389
Nordlicht	II	635

O.

Objectiv für Mikroskope	I	447
» für Fernröhre	I	463
Ocular an Mikroskopen	I	458
» an Fernröhren	I	464
Ohm'sches Gesetz	II	177
Ohr	I	339
Ordinärer Strahl	I	535
Orgelpfeifen	I	296

P.

Parallelogramm der Kräfte	I	18
Parallelopiped, Fresnel'sches	I	605
Passatwind	II	543
Pendel	I	191
» ballistisches	I	201
» elektrisches	II	61
Phenakistoskop	II	444
Physiologische Wirkungen des elektrischen Stromes	II	145
Piezometer	I	323
Pole, magnetische	II	2
» der Erde	II	629
» der voltaischen Kette	II	130
Polarisation des Lichtes	I	517
Polarisationsapparat	I	519
Polarisationswinkel	I	522
Polarisationsebene	I	520
Polarisation der Wärmestrahlen	II	433

Digitized by Google

	Bd.	Seite
Porosität	I	9
Priesterpumpe	I	161
Prismen	I	377
Procentaräometer	I	94
Psychrometer	II	563
Pumpe	I	157

Q.

	Bd.	Seite
Quantität der Bewegung	I	198
Quadrantenelektrometer	II	81
Quadrantenthermometer	II	279
Quellentemperatur	II	492
Quecksilberthermometer	II	264

R.

	Bd.	Seite
Räder gezahnte zur Bestimmung der Schwingungszahl der Töne	I	307
Reaction des ausfließenden Wassers	I	233
Reaction der ausströmenden Elektricität	II	111
Reflexion der Lichtstrahlen	I	352
» der Wärmestrahlen	II	421
» der Schallstrahlen	I	284
Regen	II	577
Regenbogen	II	596
Regenmenge	II	577
Regenmesser	II	577
Regulator	II	380
Reibung	I	217
Resonanzboden	I	331
Resultirende	I	24
Reversionspendel	I	207
Richtung elektrischer Ströme	II	209
Ritchies Rotationsapparat	II	199
Rolle	I	32
Rotation der Magneten um den Strom	II	223
Rotation des Stroms um den Magneten	II	221
Rotation des Stroms um einen Strom	II	225
Rotation der Magneten über einer Kupferscheibe	II	244
Rotationsmaschine, magnetoelektrische	II	240
Rückschlag	II	112

S.

	Bd.	Seite
Saiten, gespannte	I	309
Säule, trockene	II	132
Scalenaräometer	I	41
Schallwellen	I	276
Schatten	I	347
Schiefe, Ebene	I	28
Schieberventil	II	375
Schiffsdampfmaschine	II	384
Schmelzen	II	305
Schmelzpunkte	II	307
Schnee	II	534
Schneegränze	II	504
Schnellwage	I	37
Schraube	I	36
Schwere	I	15
» allgemeine	I	213
Schwerpunkt	I	41
Schwingungspunkt	I	196
Schwingungen, stehende	I	259
Schwingungsknoten	I	267
» in gedeckten Pfeifen	I	293
» in offenen Pfeifen	I	298
Schwingungszahl der verschiedenen Töne	I	302
Schwungkraft	I	190
Schwungmaschine	I	191
Secundäre Säule	II	136
Sehen, deutliches	I	429
Sehweite	I	432
Seilwellen	I	265
Seitenkräfte	I	24
Seitendruck beim Ausströmen der Flüssigkeiten	I	232
Seitendruck beim Ausströmen der Gase	I	256
Segners Wasserrad	I	234
Sicherheitsröhre	I	152
Siedepunkte	II	355

Digitized by Google

	Bd.	Seite
Siedepunkt des Wassers in verschiedenen Höhen	II	349
Sinusbouſſole	II	173
Sonnenmikroſkop	I	455
Spannungsreihe	II	123
Specifiſches Gewicht	I	18
Specifiſche Wärme	II	396
» » der Gaſe	II	406
Spiegel, ebene	I	354
» ſphäriſche	I	363
Spiegelſextant	I	359
Spiegelung, Erklärung der, durch die Vibrationstheorie	I	482
Spiegelverſuch, Fresnelſcher	I	472
Spannkraft der Dämpfe	II	313
» Maximum derſelben	II	314
» verſchiedener Dämpfe	II	329
Stechheber	I	153
Stöße	I	319
Stürme	II	552
Sternſchnuppen	II	607
Ströme, elektriſche gekreuzte	II	217
» » parallele	II	215
Syrene	I	305

T.

Tangentenbouſſole	II	171
Tageslänge in verſchiedenen Breiten	II	455
Teleſkop	I	362
Temperatur	II	
» mittlere	II	465
» des Bodens	II	489
» der Quellen	II	492
» der Seen und Flüſſe	II	492
» der Meere	II	493
» in höheren Luftregionen	II	497
Telegraph, elektriſcher	II	201
Theilbarkeit	I	5
Thau	II	573
Thermometer	II	264
Thermomultiplicator	II	415
Thermoelektriſche Säule	II	254
» Elemente	II	251
Thermoelektriſche Ketten	II	251
Thieriſche Wärme	II	448
Tornados	II	554
Toricelliſche Röhre	I	118
» Leere	I	
Toricellis Theorem	I	221
Totale Reflexion	I	375
Trägheit	I	14
Trägheitsmomente	I	202
Trogapparat	II	137
Turbine	I	238
Turmalinzange	I	426

U.

Undulationstheorie	I	475
Undurchdringlichkeit	I	5
Unitarier	II	74

V.

Variationen, magnetiſche	II	21
» der Temperatur	II	456
» tägliche	II	462
» jährliche	II	468
» des Barometers	II	528
» im Waſſergehalte der Luft	II	567
Verdampfen	II	347
Verdunſten	II	347
Vertheilung, elektriſche	II	68
Vibrationstheorie	I	475
Voltaiſcher Fundamentalverſuch	II	118
Voltaiſche Säule	II	128
Volumeter	I	90
Volumenometer	I	138

W.

Wage	I	49
» hydroſtatiſche	I	85
Wärmeſtrahlungsvermögen	II	418
Wärmecapacität	II	396
» der Gaſe	II	406
Wärmeerzeugung durch chemiſche Verbindung	II	443

Digitized by Google

	Bd.	Seite
Wärmeerzeugung durch Reibung	II	451
Waſſerräder	I	235
Waſſerſäulenmaſchine	I	241
Waſſerwellen	I	260
Waſſerzerſetzung	I	149
Waſſerhoſen	II	554
Wellenlänge	I	264
Wellenlänge der verſchiedenen Töne	I	302
Wellenlänge der verſchiedenen Farben	I	493
Wellenoberfläche 1ariger Kryſtalle	I	537
Wellenoberfläche 2ariger Kryſtalle	I	556
Windbüchſe	I	151
Winddrehungsgeſetz	II	547
Winde	II	540
Winkelſpiegel	I	355
Wollaſtons Batterie	II	138
Wolken	II	575
Wunderſcheibe	I	444

Z.

	Bd.	Seite
Zamboniſche Säule	II	132
Zerſtreuung des Lichtes	I	417
Zerſtreuende Kraft	I	421
Zitteraal	II	259
Zitterrochen	II	257
Zone, heiße	II	454
» kalte	II	454
» gemäßigte	II	454
Zodiakallicht	II	606
Zungenpfeife	I	314
Zündmaſchine	I	156
Zuſammendrückbarkeit	I	8
Zuſammendrückbarkeit d. Flüſſigkeiten	I	323
Zuſammenſetzung des weißen Lichtes	I	411

Digitized by Google

Österreichische Nationalbibliothek
+Z157437600

Digitized by Google

Digitized by Google